

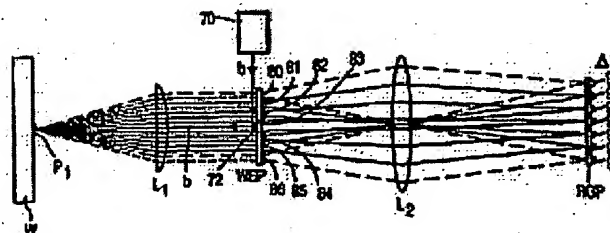
LITHOGRAPHIC PROJECTION APPARATUS WITH OFF-AXIS ALIGNMENT UNIT**Publication number:** JP2000511004T**Publication date:** 2000-08-22**Inventor:****Applicant:****Classification:****- international:** H01L21/027; G03F9/00; H01L21/02; G03F9/00; (IPC1-7); H01L21/027; G03F9/00**- European:** G03F9/00T**Application number:** JP19980538308T 19980302**Priority number(s):** EP19970200682 19970307; WO1998IB00261 19980302**Also published as:**WO9839689 (A)
US6297876 (B1)

Report a data error here

Abstract not available for JP2000511004T

Abstract of corresponding document: **WO9839689**

A lithographic projection apparatus with an off-axis alignment unit for aligning a substrate alignment mark (P1) with respect to a reference (RGP) is described. This unit comprises a structure (WEP) of deflection elements (80-86) which give the sub-beams having different diffraction orders coming from the diffractive substrate mark (P1) different directions so that these sub-beams are incident on separate reference gratings (90-96) and can be detected by separate detectors (DET). This unit also provides the possibility of aligning asymmetrical alignment marks with great accuracy.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2000-511004

(P2000-511004A)

(43)公表日 平成12年8月22日(2000.8.22)

(51)Int.Cl.¹
H 0 1 L 21/027
G 0 3 F 9/00

識別記号

P I
H 0 1 L 21/30
G 0 3 F 9/00

フォーマット(参考)

5 2 5 R
H

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求(全 47 頁)

(21)出願番号 特願平10-538308
(86)(22)出願日 平成10年3月2日(1998.3.2)
(85)翻訳文提出日 平成10年11月9日(1998.11.9)
(86)国際出願番号 PCT/JP98/00261
(87)国際公開番号 WO98/39689
(87)国際公開日 平成10年9月11日(1998.9.11)
(31)優先権主張番号 97200682.9
(32)優先日 平成9年3月7日(1997.3.7)
(33)優先権主張国 ヨーロッパ特許庁(E.P.)
(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, L, U, MC, NL, PT, SE), JP, KR

(71)出願人 アーエスエム リソグラフィ ベスローテン フェンノートシャップ
オランダ国 5503 エルアー フェルトホーフェン デラン 1110
(72)発明者 ボルンブルク フランク
オランダ国 5656 アーアー アインドーフェン プロフ ホルストラーン 6
(74)代理人 弁理士 浅村 皓 (外3名)

(54)【発明の名称】 離軸整列ユニットを持つリトグラフ投射装置

(57)【要約】

基板整列マーク(P1)を基準(RCP)に関し整列させるための離軸整列ユニットを持つリトグラフ投射装置。このユニットは偏向素子(80-88)の構造体(WEP)を有し、該偏向素子は回折基板マークから来る異なる回折次数を持つ副ビームに異なる方向を与えるので、これらの副ビームは分離された基準回折格子に入射し、分離された検出器(DET)により検出されることができる。このユニットは非対称整列マークを非常に正確に整列させる可能性も提供する。

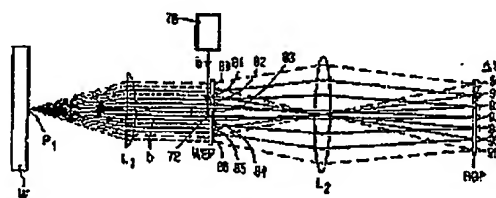


FIG. 4

(2)

特表2000-511004

【特許請求の範囲】

1. 投射ビームを供給する光源と；マスク保持器と；基板保持器と；該マスク保持器と該基板保持器との間に配置される投射システムと；を有して成り、また上記基板保持器内に設けられる基板を上記マスク保持器内に設けられるマスクに関して最終的に整列させるための整列システムをも更に有して成るリトグラフ投射装置であって、上記整列システムは上記基板上に設けられる整列マークを成る基準に関して整列させるための離軸整列ユニットを含むところのリトグラフ投射装置において、

上記整列マークは回折マークであり、また、上記整列ユニットは、0より高い種々の異なる回折次数で上記回折マークにより回折されるところの、少なくとも3以上の或る数の副ビームを個別に検出するのに適合しており、各副ビームは上記基準に関する基板マークの位置についての表示を含むことを特徴とするリトグラフ投射装置。
2. 請求項1に記載のリトグラフ投射装置において、上記基準は、用いられた回折次数に等しい或る数の、基板整列マークと同じ形を持つ別々の基準素子の構造体で構成され、また、上記基板マークから来て関連の回折基準素子を通過する副ビームを電気信号に変換するために、これらの回折素子の各々に対し別個の検出器が付随していることを特徴とするリトグラフ投射装置。
3. 請求項2に記載のリトグラフ投射装置において、上記基準素子は回折格子であることを特徴とするリトグラフ投射装置。
4. 請求項2又は3に記載のリトグラフ投射装置において、基板マークと回折基準素子との間の光通路には、第1レンズシステムと；個別の副ビームに種々の異なる方向を与えるために上記第1レンズシステムからの副ビームの通路に配置される偏向素子の構造体と；該当する基準素子上に副ビームを集中するために上記偏向素子の背後に配置される第2レンズシステムと；を順次に取り入れることを特徴とするリトグラフ投射装置。
5. 請求項4に記載のリトグラフ投射装置において、第1レンズシステムと基板マークの平面との間の距離は第1レンズシステムの焦点距離に等しく、また、

(3)

特表2000-511004

第2レンズシステムと基準素子の平面との間の距離は第2レンズシステムの焦点距離に等しく、更にまた、第1レンズシステムと第2レンズシステムとの間の距離は第1レンズシステムの焦点距離と第2レンズシステムの焦点距離との和に等しいことを特徴とするリトグラフ投射装置。

6. 請求項4又は5に記載のリトグラフ投射装置において、上記偏向素子の構造体は、各回折次数に対して1対の偏向素子を有し、それによってこの回折次数で反対の回折次数符号を持つ副ビームを偏向させ、その偏向させ方は、第2レンズシステムがこれらの副ビームを当該の1つの基準素子上に収束させるようにしてあることを特徴とするリトグラフ投射装置。
7. 請求項4、5又は6に記載のリトグラフ投射装置において、上記偏向素子の構造体は、副ビームの数に等しい数の個別の光学的楔を有することを特徴とするリトグラフ投射装置。
8. 請求項4、5又は6に記載のリトグラフ投射装置において、上記偏向素子の構造体は多数の透明な楔型の板を有し、それらは副ビームの通路に前後に並べて配列され、種々の異なる楔角と、偏向しないで光を通過させるための多数の開口部とを持ち、開口部の数とそれらの位置とは、 n 個の板の組合せを用いて 2^n の回折次数が2値をとるやり方で異なる方向に偏向できるようにしてあることを特徴とするリトグラフ投射装置。
9. 請求項1ないし8のうちのいずれか1項に記載のリトグラフ投射装置において、上記基板マークは線形の回折格子であることを特徴とするリトグラフ投射装置。
10. 請求項9に記載のリトグラフ投射装置において、上記基板マークは2個の回折格子部分を有し、その第1の部分の回折格子ストリップの方向は第2部分の回折格子ストリップの方向に垂直であり、上記偏向素子の構造体は2次元構造であり、また上記基準は2次元の基準であることを特徴とするリトグラフ投射装置。
11. 請求項1ないし10のうちのいずれか1項に記載のリトグラフ投射装置において、上記離軸整列ユニットは、異なる波長のビームを供給する2個の光源と、基板マークへの通路上で2つのビームを組み合わせるため及び上記のマークで

(4)

特表2000-511004

反射されるビームを分割するためのビーム分割器とを有すること、並びに偏向素子及び回折基準素子の別個の構造体がこれらのビームの各々について存在することを特徴とするリトグラフ投射装置。

12. 請求項1ないし11のうちのいずれか1項に記載のリトグラフ投射装置において、第2の離軸整列ユニットが存在し、且つ最初に記述した整列ユニットと、この第2の整列ユニットとは投射システムに関して正反対の側に配置されることを特徴とするリトグラフ投射装置。
13. 請求項1ないし12のうちのいずれか1項に記載のリトグラフ投射装置において、整列システムは、マスクパターンに関し基板を整列させるために、軸上整列ユニットをも更に有することを特徴とするリトグラフ投射装置。
14. 請求項13に記載のリトグラフ投射装置において、上記軸上整列ユニットは、投射ビームの波長とは異なる波長を持つビームを発する光源を有することを特徴とするリトグラフ投射装置。
15. 請求項13に記載のリトグラフ投射装置において、上記軸上整列ユニットは、投射光で動作する画像センサによって構成されることを特徴とするリトグラフ投射装置。
16. マスクパターンを第1の基板上に投射するための投射装置及び第2の基板の位置を測定するための測定装置を含むリトグラフ投射装置において、該測定装置は請求項1ないし12のうちのいずれか1項に記載の離軸整列ユニットを含むことを特徴とするリトグラフ投射装置。

(5)

特表2000-511004

【発明の詳細な説明】

離軸整列ユニットを持つリトグラフ投射装置

本発明は、投射ビームを供給する光源と；マスク保持器と；基板保持器と；該マスク保持器と該基板保持器との間に配置される投射システムと；を有して成り、また上記基板保持器内に設けられる基板を上記マスク保持器内に設けられるマスクに関して最終的に整列させる(ultimately aligning)ための整列システムをも更に有して成り、上記整列システムは上記基板上に設けられる整列マークを或る基準に関して整列させるための離軸整列(off-axis alignment)ユニットを含むところのリトグラフ投射装置に関する。

最終的整列(ultimate alignment)とは、第1段階では上記の整列ユニットは基盤を基準に関し整列するために使用されるが、この整列ステップの結果は他の測定と組み合わせて該基盤を該マスクに関して整列するために使用されることを意味する。

リトグラフ投射装置は、拡散及びマスキング技術の手段による集積回路又はIC製造における不可欠の構成要素である。この装置の支援により、異なるマスクパターンを有する多数のマスクが半導体上の同一の位置に連続的に像が作る。この基盤は同一位置にある連続する像について好ましい物理的及び化学的变化を受ける。この目的のために、この基盤はマスクパターンの露出を受けた後に該装置から取り外されねばならず、且つ好ましい処理過程のステップを受けた後その基盤は第2のマスクパターンにより露光されるために再度同一の位置に置かれねばならず、これが連続して実施されるが、第2のマスクパターン及びそれに続くマスクパターンの像は該基盤に関し正確に位置することが保証されねばならない。この目的のために、該リトグラフ投射装置には基盤上の整列マークがマスク上の整列マークに関して整列される光学的整列システムが与えられている。

リトグラフ装置はICの製造に使用されるのみではなく、1マイクロメートルのオーダーの細部の寸法を持つ他の構造物の製造にも使用される。組み合わされた、又は完全な光学システム、又は磁区メモリの案内と検出パターン、及び液晶ディスプレイ

プレーパネルの構造物が例である。また、これらの構造物の製造においてマスク

(6)

特表2000-511004

パターンの像は基盤に関して非常に正確に整列されねばならない。

リトグラフ投射装置はステッピング装置又はステップ・アンド・スキャン装置であってもよいであろう。ステッピング装置においては、マスクパターンは基盤のICエリア上に1回のラン(run)により作像される。続いて、この基盤はマスクに関して移動させられ、後続のICエリアが該マスクパターン及び投射レンズシステムの下に位置し、該マスクパターンが後続のICエリア上に作像されるようにする。この過程は該基盤の全てのICエリアにマスクパターン像が与えられるまで繰り返される。ステップ・アンド・スキャン装置においても上記のステッピング手順が使用されるが、マスクパターンは1回のランによるのではなく走査する動作により作像される。マスクパターンの作像の間、該基盤は投射システムの拡大率を考慮しながら投射システム及び投射ビームに関し該マスクに同期して動かされる。該マスクパターンの連続して露光された部分に隣接する1連の部分像が1個のICエリア上に作像される。該マスクパターンが1個のICエリア上に作像されるのが完全に終了すると、次のICエリアへ1ステップ進行する。実現可能な走査手順は、“Semiconductors International”誌1986年5月号所載のD.A.Markleによる論文“Sub-micron 1:1 Optical Lithography”に記述されている。

米国特許第5,243,195号は整列システムを備え且つICの製造を目的とする光学のリトグラフ投射装置を開示している。この整列システムは離軸整列ユニットを有し、基盤整列マークをこの離軸整列ユニットに対して整列させる。更に、この整列ユニットは第2整列ユニットを有し、投射レンズ(TL)を経て基盤マークをマスクマークに対して整列させる。投射レンズを経ての(軸上整列の)整列は現代の光学のリトグラフ投射装置において最も頻繁に使用される方法であり、且つ基盤とマスクが相互に直接に、従って非常に正確に整列できる特長を有する。離軸整列方法が使用される時には、米国特許第5,243,195号に記述の基線オフセット(baseline offset)を考慮に入れなければならない。

軸上整列(on-axis alignment)の方法は現在まで完全に満足すべき状態で動作してきたが、IC製造に新技術が使用され且つICパターンの細部寸法又は線幅が減少する時に、信頼性及び正確性に関しこの整列方法は問題を生じる可能性がある

(7)

特表2000-511004

ことが予想されている。

基盤の単位表面エリア当たりの電子コンポーネント数の増加及びそれに起因するこれらコンポーネントの小寸法化に関連して、集積回路が製造される時の正確度に一層厳格な要求が課せられる。従って、連続するマスクが基盤上に像を作られる位置は以前にも増して一層正確に固定されねばならない。一層狭い線幅を持つ新世代のICの製造においては、整列の正確度は改善されねばならず、換言すれば整列システムの解像度が向上されねばならないために一層小さい偏位を検出できねばならない。一方、線幅が減少する場合に投射レンズシステムに要求される一層高い開口値(Numerical Aperture:NA)のために、基盤の平滑度に一層厳格な要求が課せられる。このシステムの焦点深度はNAの増加と共に減少する。投射レンズシステムの要求される可成り大きな像分野において幾らかの像分野の湾曲が発生するために基盤の非平滑度に対しては殆ど許容余地がない。基盤の希望する平滑度を得るために、投射装置中での異なるマスクパターンの2個の連続する露光の間にこの基盤を化学的機械的研磨(CMP)処理の手段により、この基盤を研磨することが提案されてきている。しかし、この研磨処理は軸上整列方法の正確度に影響を与える。この方法においては、回折格子が基盤整列マークとして使用され、且つこの回折格子により第1次で回折された副ビームが基盤マークをマスクマーク上に像を作らせるために使用される。この過程において、基盤回折格子マークの重心がマスク整列マークの重心に対して整列される時に、基盤はマスクに対して正確に整列されていると想定される。その場合に、各回折格子マークに対する重心は回折格子の幾何学的中心と一致すると仮定されてきた。しかし、上記のCMP処理は基盤回折格子マークを非対称にするために、この整列方法は最早信頼できない。

更に、新世代ICに対する製造過程は急速に複雑に成りつつあり、処理ステップ数及び基盤上の処理層の数は急速に増加している。また、これらの層の幾つかは基盤回折マークに非対称を従って整列誤差をもたらしている。

更にまた、既知の軸上整列方法が使用される時に、位相回折格子である基盤マークの回折格子溝の深さに厳格な要求が課せられる。

整列信号に対する上記の作用の影響を顕著に減少させ、且つ既知の整列システ

(8)

特表2000-511004

ムより一層正確且つ信頼性のあるリトグラフ投射装置に対する整列システムを供給するのが本発明の目的である。この目的のために、本発明によるシステムは、上記整列マークが回折マークであり、また、上記整列ユニットは、0より高い種々の異なる回折次数(diffraction orders)で上記回折マークにより回折されるところの、少なくとも3以上の或る数の副ビームを個別に検出するのに適合しており、各副ビームは上記基準に関する基板マークの位置についての表示を含むことを特徴とする。

異なる回折次数を持つ少なくとも3個の副ビームを個別に検出するような整列ユニットの採用は、3又はそれ以上の副ビームが同時に検出されねばならないことを意味するのではなく、該整列ユニットがこれら副ビームの全てを分離して検出する可能性を提供することを意味する。実行上は、副ビームが検出できることもあればできないこともあり、且つ同時のこともあり同時でないこともある。

回折マークは電磁ふく射ビームを異なる回折次数の多数の副ビームに分割するマークである。そのようなマークは回折格子又は別の回折素子により構成されるであろう。

本発明は、回折整列マークが軸上整列ユニットとの組み合わせでは最早使用されないが離軸整列ユニットとの組み合わせで使用されれば、このマークの特性を有効に利用できるとの認識に基づいている。米国特許第4,251,160号に記載のように、基盤回折格子自体の半分の周期である周期を持つ基盤回折格子の像は、基盤整列マークとして回折格子が使用され且つ該基盤回折格子の第1次副ビームのみが対応する回折格子整列マーク上にこのマークの像を作るために使用される軸上整列ユニット中に得られる。従って、ゼロ次副ビーム及び高次副ビームがこの像のために協調して使用される場合には、整列の精度は2倍になる。米国特許第4,251,160号に記載の整列ユニットにおいて、第1次副ビームは投射レンズに組み込まれた次数絞り(order diaphragm)によって選択される。そのような絞りは、既に複雑になっている投射レンズの設計を相当複雑にし、1より高い次数である高次を通過させる次数絞りを持つ投射レンズの提供は決して容易なことではない。離軸整列ユニットに回折整列マークを供給することにより、この整列マークの高次副ビームの選択に大きな自由度が生じる。高次が選択されれば該整列ユニ

(9)

特表2000-511004

ット

の解像力が強化される事実は長所として使用されるであろう。

本発明は、高次の副ビームは回折格子マークの中央ではなくその角により決定され、且つ中央に比べてこれらの角はCMP処理又は回折格子の非対称性に影響をもたらす他の手段に対して影響を受けにくいことの認識にも基づいている。高次の副ビームの使用により、非対称整列回折格子の問題が除去されるのみでなく、整列ユニットの正確性も強化される。

基盤を非対称整列マークと整列するために基盤マークからの複数の高次副ビームを使用することは米国特許第4,828,392号から既知であることを注記する。しかし、非対称マークは回折格子溝が回折格子溝の中心線に關し非対称であるマークである。しかし、投射レンズシステムに組み込まれなければならない、且つ大きな開口値と共に供給されねばならない、次数絞りが使用される。基盤上において適切であるマスクパターンの像の質はこれにより疑いなく影響される。

米国特許第5,477,057号は走査リトグラフ装置に対する離軸整列ユニットも記述している。基盤マークを装置基準に關して整列するための分離した整列センサヘッドが投射レンズシステムの隣にそれに対向して配置されている。離軸整列ユニットを使用する理由は、モノクローム投射レンズシステムでは適切に伝達できない広帯域整列放射を使用したいとする希望にある。上記特許は回折整列マークを記述がなく、又は整列中における複数の高次副ビームの使用も述べていない。

米国特許第4,870,452号は、投射レンズシステムと基盤の間に平行平板を配置する基盤に対する離軸整列ユニットを記述している。この板は投射ビームに対しては完全に透明であるが、整列ビームに対しては異なる反射及び透過係数を持つ。この板は、整列ビームは基盤整列マークに対して正確な角度で入射し、且つ反射後は、このマークにより与えられた角度で検出システム上に向けられることを保証しなければならない。基盤マークは、例えば回折格子マークであり、且つこのマークで形られる異なる回折次数を持つ副ビームのために分離された検出器が用意されるであろう。しかし、0次、1次及び2次の副ビームのみが検出のために使用される。実行上、投射レンズシステムと基盤の間に平行平板を配置し

(10)

特表2000-511004

ないことが好まれると思われ、この板が異なる数次を十分な範囲まで分離できるか疑わしいであろう。

本発明による投射装置の好適な実施例は、上記基準が、用いられた回折次数に等しい或る数の、基板整列マークと同じ形を持つ別々の基準素子の構造体で構成され、また、上記基板マークから来て関連の回折基準素子を通過する副ビームを電気信号に変換するために、これらの回折素子の各々に対し別個の検出器が付随していることを更に特徴とする。

上記装置は、上記基準素子が回折格子(gratings)であることを更に特徴とすることがある。

その時、整列検出は過去において信頼できることが明らかにされている回折格子から回折格子への像(grating-to-grating image)に基づいている。

整列ユニットが余りに膨大になることなく、種々の異なる回折次数の副ビームが十分に分離された方法で検出されることを達成するために、上記該装置は、基板マークと回折基準素子との間の光通路には、第1レンズシステムと；個別の副ビームに種々の異なる方向を与えるために上記第1レンズシステムからの副ビームの通路に配置される偏向素子の構造体と；該当する基準素子上に副ビームを集中するために上記偏向素子の背後に配置される第2レンズシステムと；を順次に取り入れることを更に特徴とするのが好適である。

この実施例は、第1レンズシステムと基板マークの平面との間の距離が第1レンズシステムの焦点距離に等しく、また、第2レンズシステムと基準素子の平面との間の距離が第2レンズシステムの焦点距離に等しく、更にまた、第1レンズシステムと第2レンズシステムとの間の距離が第1レンズシステムの焦点距離と第2レンズシステムの焦点距離との和に等しいことを更に特徴とするのが好適である。

2個のレンズシステムは協調してテレセントリック(telecentric)レンズシステムを構成し、且つ偏向素子構造体の軸位置は最早重大ではなくなる。

上記装置は、上記偏向素子の構造体が、各回折次数に対して1対の偏向素子を有し、それによってこの回折次数で反対の回折次数符号を持つ副ビームを偏向さ

(11)

特表2000-511004

せ、その偏向させ方は、第2レンズシステムがこれらの副ビームを当該の1つの基準素子上に収束させるようにしてあることを更に特徴とするのが好適である。

この時に、基盤マークのプラス次数及びマイナス次数がこのマークをの基準素

子への作像に使用され、且つ利用可能な整列光の最適利用がなされる。

偏向素子の構造には数種類の実施例が可能である。第1の実施例は、上記偏向素子の構造体が、副ビームの数に等しい数の個別の光学的楔(optical wedges)を有することを特徴とする。

これらの楔は個別の素子として製造され、次いで共通の透明な担体板へと固定されるであろう。個別の楔は光学分野で良く知られた複製技術により1回の回折格子の加工工程で製造されるのが好ましい。鋳型として存在する楔の全体の構造の陰型は次いで合成物質の層、例えば水晶板の上に準備される例えばUVを補正できる材料に印刻される。

厳しい要求が、例えば同じ回折次数の+次数(+order)及び-次数の副ビームの偏向に使用される2個の楔の楔面の傾斜面の相互精度のために設定される。これらの要求条件は偏向素子の構造体の第2の実施例において一層容易に満足させることができ、それは、上記偏向素子の構造体が多数の透明な楔型の板を有し、それらは副ビームの通路に前後に並べて配列され、種々の異なる楔角と、偏向しないで光を通過させるための多数の開口部とを持ち、開口部の数とそれらの位置とは、 n 個の板の組合せを用いて2"の回折次数が2値をとるやり方で異なる方向に偏向できるようにしてあることを特徴とする。

これらの楔は、希望する精度で比較的容易に製造できる特長を持っている。

基盤整列マークは線型回折格子であろう。そのような回折格子の設計に当たっては放射を異なる偏向指示間で希望する分散をすることを考慮に入れるべきである。

2つの相互に垂直な方向に整列できるようにするために、上記装置は、上記基盤マークが2個の回折格子部分を有し、その第1の部分の回折格子ストリップの方向は第2部分の回折格子ストリップの方向に垂直であり、上記偏向素子の構造体は2次元構造であり、また上記基準は2次元の基準であることを更に特徴とす

(12)

特表2000-511004

る。

上記装置は、上記離軸整列ユニットは、異なる波長のビームを供給する2個の光源と、基板マークへの通路上で2つのビームを組み合わせるため及び上記のマークで反射されるビームを分割するためのビーム分割器とを有すること、並びに

偏向素子及び回折基準素子の別個の構造体がこれらのビームの各々について存在することを更に特徴とするのが好適である。

この時に、基板マークの溝の深さに対して厳格な要求を課すことは必要としない。

上記装置の実例の実施例は、第2の離軸整列ユニットが存在し、且つ最初に記述した整列ユニットと、この第2の整列ユニットとは投射システムに関して正反対の側に配置されることを更に特徴とする。

離軸整列システムは又基準に関し基板保持器上で別の整列マークを整列するのに使用できる。その場合、基板マークの整列は基板保持器マークに関して決定される。

基板に関してマスクパターンの究極的な配列が実現できるようにするために、上記装置は、整列システムが、マスクパターンに関し基板を整列させるするために、軸上整列ユニットをも有することを更に特徴とする。

上記軸上整列ユニットは、投射ビームの波長とは異なる波長を持つビームを発する光源を有するタイプのものであることができるが、或いはその代替案として投射光で動作する画像センサによって構成されることもできよう。

本発明は、マスクパターンを第1の基板上に投射するための投射装置及び第2の基板の位置を測定するための測定装置を含むリトグラフ投射装置に使用することもできる。そのような装置の実施例は、測定器と投影器の間でやりとりする2個の基板階層を持ち、米国特許明細書第US-A4,861,162号に示される。そのような装置はその処理量、即ち1時間に処理できるウェファー数が投射器のみを有し測定器を持たない類似の装置のそれよりは可成り大きい利点を有する。

本発明が実施されている2重の機器から構成されるリトグラフ投射装置は、測定器が上記のように離軸整列ユニットを有することを特徴とする。

(13)

特表2000-511004

本発明のこれら及び他の様相は後記の実施例から明らかであり、且つそれを参照して解明されるであろう。

図において：

図1はステップ・アンド・スキャン投射装置の実施例を各種の測定システムと共に示し：

図2は基板整列マークの実施例を示し：

図3はマスクマーク及び基板マークを相互に関連の上整列させる2重整列ユニットの実施例を示し：

図4は本発明に準拠の離軸整列ユニットの実施例を示し；

図5はこの発明に使用される回折格子に関するプレートを示し；

図6はこの発明における楔素子による偏向を示し；

図7は整列ユニット中の第1及び第2レンズシステムの好ましい配置を示し；

図8は整列ユニットの第2の実施例における偏向素子の構造体として使用される一連の楔型板を示し；

図9は一連のものが副ビームを偏向させる方法を示し；

図10は2個の波長を持つ光が使用される整列ユニットの実施例におけるこの板の平面における副ビームの位置を示し；

図11は2個の波長が使用される整列ユニットの実施例を示し；

図12はこの実施例に使用されるための好ましいビーム分割器を示し；

図13は投射レンズ及び基板に関連して整列ユニットの位置を示し；且つ

図14はイメージセンサユニット及び投射装置の焦点合わせとレベリングのユニットに関連して2重整列ユニットのサブユニットの位置を示す。

本発明の一層明確な理解のために、本発明が使用されるであろう軸上整列ユニット及び他の測定システムが備えられる既知の光学的リトグラフ投射装置を先ず説明する。

図1は基板上へのステップ・アンド・スキャンによるマスクパターンの像の作成のためのその種の装置の実施例の光学的素子を輪郭的に示す。この装置は、その主となる素子として、投射システムPLを組み込んだ投射柱(projection column

(14)

特表2000-511004

)を有する。このシステムの上部に像を作るべきマスクパターンCがそこに用意されるマスクMAのためのマスク保持器MHが存在する。マスク保持器はマスク階程MTの一部分である。基板階程WTは投射レンズシステムPLの下方に配置される。このテーブルは感光性の層を備えた基板Wのための基板保持器WHを有する。マスクパターンCは感光性の層において毎回異なるエリアであるICエリア W_0 に像を多数の回数作らねばならない。基板テーブルはX及びY方向に移動が可能で第1の

ICエリアにマスクパターンの像を作成後、続くICエリアをマスクパターンの下に位置させることができる。

該装置には、更に例えばフッ化クリプトン(Krypton-Fluoride)エキシマレーザ又は水銀灯である光源LA、レンズシステムLS、鏡RE、及び集光レンズCOが備えられている。照明システムにより供給される投射ビームPBはマスクパターンCを照明する。このパターンは投射レンズシステムPLにより基板WのICエリア上に像となる。該投射レンズシステムは、例えば拡大率 $M=1/4$ 、開口率 $NA=0.6$ 、及び直径22mmの回折制限の(diffraction-limited)イメージ視野を持っている。

該装置には更に多数の測定システムが備えられ、それらはXY平面においてマスクMAと基板Wを相互の関連において整列するシステム、基板保持器従って基板の位置と方向を決定する干渉計システム、及び投射レンズシステムPLの焦点又は像の面と基板Wの表面の間の差を決定する焦点誤差検出システムである。これらの測定システムは、該測定システムにより供給される信号を参照して基板の位置と方向及び焦点が補正される電子的信号処理制御回路及び駆動器又はアクチュエータ(actuator)を有するサーボシステムの部分である。

整列システムは図1の右上端に示されるマスクMA内の2個の整列マーク M_1 と M_2 とを使用する。図2に示すように、これらのマークは回折格子から構成されるのが好ましいが、しかし別の方法として、その周辺から光学的に識別できる正方形又は線条のような他のマークによって構成されてもよい。整列マークは2次元、即ち図1のXとY方向のような2個の相互に垂直な方向に伸びるのが好ましい。例えば半導体基板のような基板Wは、少なくとも2個の整列マーク、出来れば図1の P_1 と P_2 でその2個を示すような2次元の回折格子を持つ。 P_1 と P_2 の

(15)

特表2000-511004

マークは基板W上でICエリア外に位置する。回折格子マークの P_1 と P_2 はフェーズ回折格子として実施することが好ましく、且つ回折格子マークの M_1 と M_2 は振幅回折格子として実施することが好ましい。

図1は軸上整列ユニットの特別な実施例を示すが、それは2個の整列ビーム b 及び b' が基板整列マーク P_2 をマスク整列マーク M_2 上に整列するため並びに基板整列マーク P_1 をマスク整列マーク M_1 上に整列するためにそれぞれ使用される2重整列ユニットである。ビーム b は例えば鏡である反射素子30によりブリ

ズム26の反射面27に向けて反射される。反射面27は、マーク P_2 の像が作られるそれに関連するマスクマーク M_2 に対して光の一部をビーム b_1 として送出する基板整列マーク P_2 に向けて、ビーム b を反射する。マーク M_2 の上部には例えばブリズムである反射素子11が存在し、マーク M_2 を通過した光を光に感応する検出器13に向かわせる。

第2の整列ビーム b' は投射レンズシステムPL中の反射器29に向けて鏡31により反射される。この反射器は、ビーム b' を、その表面がビーム b' を基板整列マーク P_1 上に向けるブリズム26の第2の反射面へ送り込む。このマークは、ビーム b' の光の一部を、マーク P_1 の像が作られるマスク整列マーク M_1 に向けて、ビーム b'_1 として、反射する。マーク M_1 を通過するビーム b'_1 の光は、光に感応する検出器13'に向けて反射器11'により送出される。

図2は位相回折格子の型による2個の同一の基板マークの内の1個の実施例を拡大した寸法で示す。そのような回折格子は4個の副回折格子 $P_{1..a}$ 、 $P_{1..b}$ 、 $P_{1..c}$ 及び $P_{1..d}$ で構成され、その内の2個の $P_{1..b}$ と $P_{1..d}$ はX方向の整列に使用され、他の2個の $P_{1..a}$ と $P_{1..c}$ はY方向の整列に使用される。2個の副回折格子 $P_{1..b}$ と $P_{1..c}$ は例えば $16\mu\text{m}$ の回折格子周期を持ち、副回折格子 $P_{1..a}$ と $P_{1..d}$ は例えば $17.6\mu\text{m}$ の回折格子周期を持つ。各副回折格子は、例えば $200\times 200\mu\text{m}$ の寸法を持っているであろう。原則として $0.1\mu\text{m}$ より小さい整列精度は、この回折格子マーク及び適切な光学的システムにより達成できる。異なる回折格子周期を選択することにより、整列ユニットの捕捉できる領域を拡大できる。例えば、この領域は $40\mu\text{m}$ である。

(16)

特表2000-511004

図3は僅かに修正した整列ユニットの光学的素子を一層詳細に示す。2重整列ユニットは、投射レンズシステムPLの光軸AA' に関し対称的に配置される2個の分離された同一の整列システムAS₁とAS₂を有する。整列システムAS₁はマスク整列マークM₂に関係し、整列システムAS₂はマスク整列マークM₁に関係する。2個の整列システムの対応する素子は同一の参照番号で表示されシステムAS₂のは、それらをシステムAS₁のそれらから区別するためにプライム符号が付されている。

システムAS₂の構造及びマスクマークM₂及び例えば基板マークP₂の相対位

置がこのシステムにより決定される方法を記述する。

整列システムAS₁は整列ビームbを放つ例えばヘリウム・ネオン・レーザのような光源1を有する。このビームは、ビーム分割器2により基板Wにより反射される。該ビーム分割器は半透明の鏡又は半透明のプリズムから構成されるであろうが、 λ がビームbの波長である時に $\lambda/4$ 板3に前置される偏光に敏感な分割プリズム2により構成されるのが好ましい。投射レンズシステムPLは、ビームbを1mmオーダの直径を持つ基板W上の小さな光スポットVに焦点を合わせる。この基板はビームの一部をビームb₁としてマスクMAに向けて反射する。該ビームb₁は、光スポットVをマスク上に像を作る投射レンズシステムを通過する。基板を投射装置に対応させる前に、光スポットVが基板マークP₂上に位置するように、例えばEP特許出願第0 164 165号に記述される機器のような事前整列機器において該装置に事前整列されている。次いで、このマークは、ビームb₁によりマスクマークM₂上に結像される。投射レンズシステムの拡大率Mを考慮して、マークP₂及びマークM₂が正確に相対的に位置した時にマークP₂の像がマークM₂に正確に一致するように、マスクマークM₂の寸法が基板マークP₂のそれに適応される。

基板W向け及びそれからの通路において、ビームbとb' は、光源1から来る直線偏光されたビームbの偏光の方向に対して光軸が45° の角度である $\lambda/4$ 板3を2度通過する。その時、 $\lambda/4$ 板を通過するビームb₁は、ビームb₁が偏光分割プリズムを通過できるようにビームbに関して90° 回転している偏光の方向を持つ

(17)

特表2000-511004

。λ/4板と組み合わせて偏光分割プリズムを使用することは、整列ビームを整列システムの光通路に結合させる時に、最小の光損失になる長所を提供する。

整列マークM₂を通過したビームb₁は、プリズム11により反射され、且つ例えば別の反射プリズム12によって光に敏感な検出器13に導かれる。この検出器は、例えば図2に示される副回折格子の数に一致する4個の別々の光に敏感な領域を持つ例えば複合フォトダイオードである。この検出器領域の出力はマークM₂の基板マークP₂との一致の指標である。これらの信号は電子的に処理することができ、マークPの像がマークMに一致するように（ここには示されていない）駆動システムの手段によりマスクと基板を相互に関連させて動かせるのに使用される。

る。このようにして、自動整列システムが得られる。

例えばビームb₁の一部をビームb₂として分割する部分的に透明なプリズムの型のビーム分割器14はプリズム11と検出器13の間に配置されるであろう。該分割ビームは、整列マークP₂及びM₂が投射装置の操作者に見える（ここには示されていない）モニタに結合されるテレビジョン・カメラ17上に例えば2個のレンズ15と16を経て入射される。その時、この操作者は2個のマークが一致しているかいないかを確認し、且つマークが一致するようにマニピュレータの手段により基板Wを動かすことができる。

マークP₂及びM₂について上記に記述したのに類似して、マークM₁とP₂及びマークM₁とP₁は、相互に関連させて整列できる。整列システムAS₂は、最後に述べた2個の整列使用される。

2重整列システムの構造及び整列手順に関する一層の詳細は米国特許第4,778,275号を参照されたい。

図1に示される軸上整列ユニットの実施例は、例えば248nmの短い波長を持つ投射ビームPB及び例えば633nmの長い波長を持つ整列ビームが使用される装置に対して特に適合している。

投射レンズシステムは投射ビームPBの波長に対して設計されているので、このシステムPLを整列ビームの手段により整列マークのP₁とP₂及びM₁とM₂をそれぞれの上に結像させるために使用される時に違いが発生する。例えば、基板整列

(18)

特表2000-511004

マークはマスク整列マークが存在するマスクパターン面に存在せず、投射ビームと整列ビームの違い及び2個の波長に対する投射レンズ素子の材料の屈折率の違いに依存するそれからの与えられた距離に結像するであろう。もし投射ビームが例えば248nmの波長を持ち、且つ整列ビームが633nmの波長を持てば、この距離は2mであろう。更に、上記の波長差のために、基板整列マークは望ましい拡大率とは異なり波長差の増加と共に増加する拡大率によりマスク整列マーク上に結像される。

上記の差を補正するために、投射レンズシステムPLは余分のレンズである補正レンズ25を組み込んでいる。この補正レンズは、一方では補正レンズの面において基板整列マークにより発生されそこから送出される副ビーム即ち整列ビームの

異なる回折次数の副ビームはこれらの副ビームに個別に影響を与えることができるように十分に分離されていること、他方ではこの補正レンズは投射ビーム及びそれにより形成されるマスクパターン像に対して無視できる程度の影響しか与えないことを満足するような高さで投射レンズ中に配置される。この補正レンズは投射レンズシステムのフーリエ(Fourier)面に位置するのが好ましい。もし図3に示すように、補正レンズ25が整列ビームb及びb'の主光線が相互に交差する面に置かれれば、この場合このレンズは両方の整列ビームを補正するために使用できる。

もし希望すれば、回折素子のような楔又は異なる偏向素子が整列マークに隣接する整列ビームの通路に配置できる。図3には示されないそのような偏向素子によって、検出器13又は13'により受け取られる選択された整列ビーム部分内の意図的でない位相差即ち基板整列マークから来る整列ビーム部分の対称軸がマスクマークに垂直でなくこの板において誤った反射が発生するような位相差に起因する整列誤差を防げるであろう。そのような偏向素子を備えた整列ユニットはEP特許出願第0 467 445号に記載されている。

包括的整列と称する全体の基板をマスクに関して整列するのに使用される図1に示される包括的な整列マークP₁とP₂に加えて、基板は各ICエリアを個別にマークパターンに対して整列するためのICエリア毎の別の整列マークを与えられる

(19)

特表2000-511004

であろう。該マークは、例えば該マークのZ軸回りの回転を測定しこの回転を補正するための更に別の整列マークが使用される2個以上の整列マークも有するであろう。

投射装置は、更に投射レンズシステムPLの焦点面と基板Wの表面との間の偏位を決定し、例えば該投射レンズシステムをその軸であるZ軸に沿って移動させることによりこの偏位が補正できるための誤差検出システムを有する。このシステムは、該投射レンズシステムに固定的に接続されている（図示されていない）ホルダー内に用意される素子40,41,42,43,44,45,46により構成されるであろう。参照番号40は、例えば焦点を合わせるビーム b_2 を放出するダイオードレーザである光源を示している。このビームは反射プリズム42により基板上へ小角度で向けられる。この基板で反射されたビームはプリズム43により逆反射器44の方向へ向

けられる。素子44はこのビームを自体内で反射するため、ビーム(b_2')は再度プリズム43、基板W及びプリズム42上での反射を経て同一通路を通過する。

ビーム b_2' は部分的に反射する素子41及び反射素子45を経て光に敏感な検知システム46に達する。この検知システムは、例えば位置依存型検出器又は2個の別々の検出器から構成される。ビーム b_2' により形成される光スポットの位置は投射レンズシステムの焦点面と基板Wの面との一致の度合いに依存する。焦点合わせ誤差検出システムに関する広範な説明は米国特許第4,356,392号を参照されたい。

基板保持器のXとYの位置を正確に決定するために、ステッピング投射装置が多軸干渉計と共に与えられている。米国特許第4,251,160号は2個の測定軸を持つシステムを、米国特許第4,737,283号は3個の測定軸を持つシステムを記述している。図1において、そのような干渉計は素子50,51,52,53の手段により輪郭図として示されているが、ただ1個の測定軸であるX軸のみが示されている。光源50からレーザの形で送出されるビーム b_4 はビーム分割器51により測定ビーム b_{4m} 及び基準ビーム b_{4r} に分割される。測定ビームは基板保持器WHの反射側の面54に達し、且つ反射された測定ビームは例えば角のある立方体である固定された逆反射器により反射される基準ビームとビーム分割器51によって結合される。結合

(20)

特表2000-511004

されたビームの強度は検出器53により測定され、且つこの場合X方向である基板保持器44の位置のズレはこの検出器からの出力信号から得ることができ、又この保持器の瞬時的位置が決定されることができる。

図1に概略図として示されるように、簡略化のために1個の信号 S_3 により代表される干渉計信号及び2重整列ユニットの信号 S_3 と S'_3 は、それによって基板保持器が基板テーブルを介してXY面において移動するアクチュエータACに対する制御信号 S_c へ上記の信号を処理する例えばマイクロコンピュータである信号処理ユニットSRUへ加えられる。

図1に示すX測定軸のみでなくY測定軸及び多分第3の測定軸を持つ干渉計により、整列マーク P_1, P_2 及び M_1, M_2 の位置及びそれらの間の相互の距離は、マスクと基板の相互関係の配慮の下での最初又は包括的整列中に静止している干渉計により定義される座標システムにおいて固定できる。この干渉システムは、

ステッピング投射装置が第1のICから第2のICへ極めて正確に進むことができるために必要である基板テーブルを極めて正確に移動させることのためにも使用される。

図1に示すように、もし投射装置がマスクパターンのICエリアへの投射中にマスクと基板が同期して移動しなければならないステップ・アンド・スキャン装置であれば、このマスクも1方向即ち走査方向に移動しなければならない。投射レンズシステムの拡大率Mに配慮して、この移動は基板の対応する移動に同期しなければならない。この場合、マスクと基板は投射中相互に静止していなければならない、且つ両者は投射レンズシステム及び投射ビームに関連して移動しなければならない。マスクの移動を測定するために、該装置は第2の干渉計を備えねばならない。この干渉計システムは素子50,51,52,53,54に類似の機能を有する素子60,61,62,63,64を有する。簡略化のために図1において信号 S_3 により代表されるマスク干渉計システムからの信号は、そこでこれらの信号が基板干渉計システムからの対応する信号と比較される信号処理ユニットSPUに加えられる。その時、マスクと基板は相互に正しい位置にあり、同期して移動しているかについて確認できる。

(21)

特表2000-511004

もしマスクのX及びY方向の位置が X_r , Y_r により、基板のそれらが X_n , Y_n により、且つZ軸まわりの回転が $\phi_{x,r}$ と $\phi_{z,n}$ により表されれば、マスクと基板が相互の関係において正確に位置すれば下記の条件が満足される：

$$X_n - M \cdot X_r = 0 \quad (1)$$

$$Y_n - M \cdot Y_r = 0 \quad (2)$$

$$\phi_{z,n} - \phi_{x,r} = 0 \quad (3)$$

但しMは投射レンズシステムの拡大率である。マスクと基板は反対の方向に移動すると仮定した。もし、これらの素子が同一方向に移動すれば、Mの前のマイナスサインはプラスサインにより置き換えるべきである。

これらの条件が満足されたのを確認するには、基板用の干渉計及びマスクのためのその両者が3個の測定軸を持つことで足りる。

しかし、基板干渉計システムは5個の測定軸を持つのが好ましい。この場合、 X_r , Y_r 及び $\phi_{z,n}$ のみでなく $\phi_{x,n}$ 及び $\phi_{y,n}$ が、即ちX軸及びY軸の回り

の傾斜が測定される。

マスクのそのような傾斜の測定ができるために、5軸マスク干渉計システム、又は X_r , Y_r 及び $\phi_{z,r}$ を決定するための3軸干渉計システム並びに $\phi_{x,r}$ 及び $\phi_{y,r}$ 測定のためのキャパシタンス・センサのような他のセンサの組み合わせが使用される。

もし、 X_n , Y_n , $\phi_{x,n}$, $\phi_{y,n}$ 及び X_r , Y_r , $\phi_{z,r}$, $\phi_{x,r}$, $\phi_{y,r}$ 、並びに焦点誤差検知システムの援助により、Z軸に沿っての基板とマスクの位置である Z_n 及び Z_r が測定されれば、(1)、(2)及び(3)の条件のみでなく下記の条件が満足されることを確認できる：

$$M \cdot Z_n - Z_r = 0 \quad (4)$$

$$M \cdot \phi_{x,n} - \phi_{x,r} = 0 \quad (5)$$

$$M \cdot \phi_{y,n} - \phi_{y,r} = 0 \quad (6)$$

マスク整列マーク及び基板整列マークを相互の間違において相互に整列するための、図3に記述の軸上整列ユニットは、与えられた最小値までの線幅を持つ像が作られるステッピング及びステップ・アンド・スキャン投射装置の両者に対し

(22)

特表2000-511004

て卓越して適切であることが認められた。しかし、IC製造における新技術の使用及び像の線幅の減少は、既知の整列ユニットの精度と信頼性に関して問題に発展することが予測される。線幅を減少させる時は、整列精度が強化されねばならない。一時的に基板を平坦にするための上記のCMP処理を使用する時は、基板回折格子マークに非対称が導入されるので第1次副ビームが使用される整列手順は信頼性が失われる。更に、1個の波長を持つ整列ビームを使用する時は、満足させることが次第に困難になって来ている厳格な要求が、整列マークの回折格子の溝の深さに課せられねばならない。

これらの全ての問題は、基板マークの整列に対して離軸整列ユニットの使用すること、及び1より高い回折次数を持つ副ビームである高次副ビームを整列に使用することにより解決できる。基板マークの整列が最早投射レンズシステムを通じて発生しないため、一層多くの副ビーム、特に高次の副ビームを使用する一層大きい自由度が存在するであろう。整列ユニットの解像度は副ビームの次数の増加と共に増加するので、整列の精度は顕著に高められるであろう。特に、高次の

副ビームは基板回折格子マークの角により決定され、回折格子の中央部に比してこれらの角は上記のCMP処理及び回折格子の対称性に影響を与える他の手段による影響が少ないため、回折格子マークにおける非対称の問題は大部分除去される。更に、1個以上の波長を持つ整列光の使用が可能のため、回折格子の溝の深さに課せられる要求も可成り軽減できる。

下記に詳述するように、回折次数は、本発明に準拠の整列ユニットにおいて、電子的手段及び関連するソフトウェアではなく光学的素子により相互に分離される。その結果、信号の振幅を測定する必要はなく、この種の技術においては一層伝統的な位相測定が利用できる。

図4は新規の離軸整列ユニットの回路図を示す。回折格子の形状をしている基板マークは P_1 で表される。この回折格子へ入射する波長 λ を持つ平行整列ビーム b は、下記の既知の回折格子式により定義される回折格子の垂線に対して異なる(示されていない)角度 α_n に広がっている多数の副ビームに分割される：

$$\sin \alpha_n = N \cdot \lambda / P \quad (7)$$

(23)

特表2000-511004

但し N は回折次数であり、 P は回折格子周期である。

回折格子により反射される副ビームの通路は、該副ビームの異なる方向を平面73上でこれら副ビームの異なる位置 u_n に変換するレンズシステム L_1 を取り入れている：

$$u_n = f_1 \cdot \alpha_n \quad (8)$$

この面において、更に異なる副ビームに分離するための手段が用意される。この目的のために、例えば楔の形をした偏向素子を備えた板がこの平面に配置されるであろう。図4において、この楔はWEPで示される。該楔は例えば該板の裏面に与えられる。その場合、プリズム72は該板の表側に与えられ、それにより例えばヘリウム・ネオン・レーザである光源70から来る整列ビームは整列ユニットに結合できる。このプリズムは0次の副ビームが検出器に到達することも防止できる。楔の数は使用される副ビームの数に対応する。ここに示される実施例において、プラス次数に対し次元毎に6個の楔が存在するので、副ビームは整列に対して7次を含むこの次数まで使用することができる。全ての楔は異なる楔角を持つために、異なる副ビームの光学的分離が実現する。

第2のレンズシステム L_2 が楔板の背後に用意される。このレンズシステムは平面基準板RGPの上にマーク P_1 の像を作る。楔板が無ければ、全ての副ビームは基準面上に重なり合ったであろう。楔板を通過する異なる副ビームは異なる角度で偏向されるので、副ビームにより形成される像は基準面上の異なる位置に到達する。これらの位置 x_n は：

$$x_n = f_2 \cdot \gamma_n \quad (9)$$

により与えられ、 γ は楔板により副ビームが偏向される角度である。

これらの位置において、基準回折格子 $G_{90} - G_{96}$ が図5に示すように与えられる。個別の検出器90-96がこれらの基準回折格子それぞれの背後に置かれる。各検出器の出力信号は基板回折格子 P_1 の像が関連する基準回折格子と一致する範囲に依存する。従って、基板回折格子の整列の範囲、即ち基板のそれは各検出器は90-96により測定できる。しかし、測定が実施される精度は使用される副ビームの次数に依存する：この次数が大きければ精度も高い。図5において、簡略化

(24)

特表2000-511004

のために全ての基準回折格子 $G_{00}-G_{00}$ は同一の回折格子周期を持つと仮定した。しかし、実際には、各回折格子の回折格子周期は関連する副ビームの次数に適合される。次数が大きくなるにつれて回折格子周期は小さくなり、一層少ない誤差が検出できる。

ここまで、ただ1組の回折次数が考慮された。良く知られているように、回折格子は $+1, +2, +3$, 等々次の副ビームに加えて回折次数が $-1, -2, -3$, 等々次の副ビームを形成する。プラス次及びマイナス次両者の副ビームは回折格子像の形成に使用される。即ち、回折格子マークの第1番目の像は $+1$ 次及び -1 次の副ビームの共同により作られ、第2番目の像は $+2$ 次及び -2 次の副ビームの共同により作られ、等々となる。 $+1$ 次及び -1 次副ビームに対して、楔を使用する必要はないが、通路長差を補償する平行平板が楔板の平面においてこれらの副ビームの位置に与えられる。このようにして、プラス次及びマイナス次の両者に対する6個の楔が $2 \sim 7$ 次のために必要となる。

図6は、図4の実施例の楔の動作を一層明瞭に示している。一層の概略図である図6において、第1レンズシステム L_1 及び第2レンズシステム L_2 は波形の線で示されている。明瞭化のために、第1次の副ビーム $b(+1)$ 及び $b(-1)$ 、第7

次の副ビーム $b(+7)$ 及び $b(-7)$ 、並びに他の次数の副ビーム $b(+i)$ 及び $b(-i)$ 、例えば5次の副ビーム、のみが示されている。図6が示すように、楔角即ち楔の傾斜した面が楔板WEPの平面とで作る楔 80° 及び 80° の角度は、副ビーム $b(+7)$ 及び $b(-7)$ は平行な方向に偏向され、且つ1個の基準回折格子 G_{00} 上に第2レンズシステムにより一点に集光するような角度である。同様に、副ビーム $b(+i)$ 及び $b(-i)$ は、関連する楔 82° 及び 82° により平行の方向に偏向され1個の基準回折格子 G_{01} 上に集光される。第1次副ビームは偏向されず第2レンズシステムにより1個の基準回折格子 G_{01} 上に集光される。各回折次数のプラス次及びマイナス次の両者の使用により、基板回折格子マーク P_1 の信頼できる像が関連する基準回折格子上に作られ、利用可能な光が最大限利用される。

図7はマーク P_1 の平面及び基準回折格子板RGPとの関連においてレンズシステム L_1 及び L_2 の好ましい位置並びにこれらレンズシステムの焦点距離を示す。第

(25)

特表2000-511004

1 レンズシステムは焦点距離 f_1 を持ち、且つこのシステムはマーク P_1 の平面から距離 f_1 に配置される。レンズシステム L_1 は副ビームの主光線を光軸 $00'$ と平行の方向に偏向させる。第1レンズシステムと第2レンズシステムとの間の距離は、 f_2 を第2レンズシステムの焦点距離とする場合に、 $f_1 + f_2$ に等しい。基準回折格子板は第2レンズシステムから距離 f_2 に配置される。2個のレンズシステムの間の通路において副ビームの主光線は光軸 $00'$ に平行であるので楔板の位置は厳しくない。

図4の実施例において、同一回折次数のプラス及びマイナス次の副ビームは関連する基準回折格子上に第2レンズシステムにより正確に重ね合わせられるように偏向されるために、2個の関連する楔の相対的品質に対し最も厳しい要求が課せられる。これらの品質要求は楔の傾斜表面の質および楔角に関係する。

上記の要求を軽減し、且つ整列ユニットの許容誤差から開放するために、図8に示される偏向素子の構造が好んで使用される。各副ビームに対して1個の独立した楔の代わりに全ての副ビームに共通の多数の例えば3個の楔板190, 191, 192が使用される。図8は概念図を、図9は楔板の側面図を示す。楔角、即ち板の上面と下面との間の角度、板192に対しては面192aと面192bの間の角度、は3個のこれらの板は図8ではその一部しか示されていないが多数の開口部200を持つ。

これらの開口部は副ビームが関連する板に入射する位置に配置される。しかし、そのような全ての位置に開口部が存在するのではない。副ビームが板の開口部に入射すれば、それはこの板では偏向されない。

副ビームは板を通過する時に、0、1又は2個の開口部に遭遇するであろう。第1次副ビームのみがゼロ開口に遭遇し、何れの板によっても偏向されない。図9には、副ビームの1個が板を通過する通路が示される。このビームは第1の板190により右に偏向される。最後に、このビームは板192の開口部200を通過し、これ以上の偏向は発生しない。副ビームのそれぞれに対し、開口部の数及びそのような開口部の存在する板の順序も他の副ビームに対するものとは異なるために、全ての副ビームは異なる方向へ偏向される。3個の板の組み合わせにより、 $2^3 = 8$ の異なる偏向方向が実現できることは明らかである。同一回折次数の1対

(26)

特表2000-511004

の副ビームは同一楔板で偏向されるので、これらの副ビームが平行方向に偏向されない危険を最小にできる。

図4及び図5の実施例において、次数が1から7までの副ビームが使用されるため、7個の基準回折格子 $G_{90} \sim G_{96}$ がX方向の整列に必要となる。Y方向の整列については図5に示すように7個の別の基準回折格子 $G_{93} \sim G_{104}$ と共に7個の副ビームが又必要になるであろう。その場合、2組目の12個の楔が図4の実施例のY方向に楔面上に配置される。図8の実施例において、2組目の板は副ビームをY方向に偏向させる2組目の3個の楔板が副ビームの通路において1組目の楔板の前方又は後方に配置される。基板マークは図2に示めすマークであろう。第1次副ビームに対しては、図5に示されるように2個は $8.0\mu\text{m}$ の回折格子周期を持ち他の2個は $8.8\mu\text{m}$ の回折格子周期を持つ4個の回折格子部分を有する類似の基準回折格子が使用される。他の基準回折格子は、基板回折格子 P_1 の $16\mu\text{m}$ の周期を持つ回折格子部分に関連する回折次数に対応するただ1個の回折格子周期を持つ。この時、図2の回折格子マーク P_1 に関連する $44\mu\text{m}$ の捕捉範囲は維持される。

図4及び図5の実施例において、最高の次数を持つ副ビームは最大角度で偏向素子により偏向される。しかし、これは必要でない。実際の状況下では、この順序は、例えば回折格子像における光学的収差を最小にするために修正されるであろう。

これは、図5に示されるように増加する次数を持つ副ビームが正の角度と負の角度に交互に楔により偏向される理由でもある。

基板マーク P_1 の与えられた非対称性において十分に正確な方法で整列することが検出されねばならない最小数の回折次数は、コンピュータ・シミュレーションの手段により決定できる。そのようなシミュレーションは、例えば第1次副ビームを使用すれば 150nm 残存する整列誤差が、第5次副ビームが使用されれば 20nm に減少できることを証明した。

原則として、検出できる最大の次数は検出可能な最低の照度及びレンズシステム L_1 , L_2 の開口値により決定される。既知のように、回折格子により作られる副ビームの照度はこの副ビームの次数の増加と共に急速に減少し、副ビームの照

(27)

特表2000-511004

度はこの副ビームの次数の2乗に反比例する。第7次副ビームに対して、照度は第1次副ビームのそれの約1/50である。しかし、離軸整列ユニットを通過する整列ビームの反射による照度損失は軸上整列ユニットを通過する時に比して可成り小さい。後者のユニットにおいて、整列ビームは例えばそこで反射損失が発生するであろう約100個の面に遭遇するが、前者のユニットでは例えばただ20個のこれらの面に遭遇するに過ぎない。総反射損失が、離軸整列ユニットで4の約数であれば、7次整列副ビームは軸上整列ユニットにおける第1次整列ユニットと同等の照度を持つであろう。

回折次数がNの副ビームを通過させるために光学的システム L_1 , L_2 が持たなければならない開口の数値 NA_n は:

$$NA_n = \sin(N \cdot \lambda / p) \quad (10)$$

により与えられる。回折格子周期 $p=16\mu m$ 及び波長 $\lambda=544nm$ の7次副ビームに対して、好ましい開口の数値は約0.24であり、これは非常に受け入れ易い値である。

十分に安定なシステムを保証するために、種々の基準回折格子が水晶で構成されるのが好ましい単一板RGP上に与えられる。この板の寸法、従って第2レンズシステムの像フィールドは基準回折格子の寸法 d_1 及びそれら相互の距離 d_2 により決定される。この距離及び寸法は、例えば、両者ともに0.2mmであるためには、板RGPのX及びY方向の寸法 d_1 及び d_2 は2.8mmであり、且つ好ましいフィー

ルドの直径は約3mmである。

図4の実施例の個別の楔はガラス又は水晶で作られ水晶板に固定されるであろう。この構造は高度の安定性を示す。楔は透明な合成物質から、例えばUV硬化プラスチック等から製造されてもよいであろう。この場合は、例えば水晶基板に塗布されるこの材料の薄い層内に1回のランでモールドの手段により全楔構造をプリントするために、それ自体は光学の分野で既知の複製技術の使用が好ましい。既に述べたように、個別の楔の代わりに、開口部を有する楔板の使用が好ましい。個別の楔又は楔板の代わりに、ただ1個の数次のみが使用される回折格子のような他の偏向素子も他の手段として使用されるであろう。更に、例えばイオン移

(28)

特表2000-511004

植の手段により作成される板の材料中において屈折率が変化するパターンで構成される偏向構造体の使用も可能である。

基板マークの溝の深さに対し厳し過ぎる要求を課する必要をなくするために、例えば633nm及び532nmの2個の波長を持つ整列光を使用することが好ましい。整列回折格子が割ビームを偏向させる角度及びレンズシステム L_1 の後方焦点面におけるこれらのビームが占める位置は、式(7)及び式(8)から明白なように、波長に依存する事実が適用される。原理的に、異なる波長に対する次数は相互に識別できる。しかし、別の手段がなくとも、与えられた次数、例えば第1波長(633nm)の第2次は例えば第2波長(532nm)の第2次と第3次の間に来るであろう。異なる波長の次数を相互に良好に分離するために、異なる波長のビームは基板回折格子 P_1 上へ異なる角度で入力することが保証される。7個の回折次数が使用される場合、図10に示されるような状況はレンズシステム L_1 の後方焦点面に創り出されるであろう。さて、第1の波長の異なる次数に対する第1の交差パターンの位置110~137、及び第2波長の異なる次数に対する第2の交差パターンの位置138~165が存在する。図6の中央に2重矢印の手段により示されるように、これらのパターンは相互の関係においてオフセットされているが、それは異なる波長を持つ整列ビームの入射の異なる角度に起因する。これらの角度は、焦点外れに起因して発生する整列誤差を防止するために、可能な限り最小に維持されるべきである。2個の波長を使用する時、回折素子を有する板は勿論図10に示される状態に適合しなければならないが、これは24個の分離した楔の代わりに48個の

楔が使用されねばならないこと、又は6個の楔型の板の代わりに12個のそのような板が使用されねばならないことを特に意味する。

2個の波長を持つ整列に対する一層優れた他の方法は図11に示される。この図において、参照番号160は偏光に敏感なビーム分割器を示す。このビーム分割器は例えばHe-Neレーザから633nmである第1波長 λ_1 を持ち且つ偏光の第1方向を持つ第1整列ビーム b_1 を受け取り、且つこのビームを基板回折格子マーク P_1 へ通す。このビーム分割器への入射に、例えば532nmの第2波長を持ち周波数2倍器に先行するYAGレーザから来る第2整列ビーム b_2 がある。ビーム b_2 は、ビーム b_1

(29)

特表2000-511004

、が基板マーク P_1 へ反射されるようにビーム b の偏光に垂直な偏光方向を有する。ビーム b 及び b_1 の主光線は1個のビームとしてマーク P_1 へ通されるようにこれらのビームはビーム分割器により統合される。該マークによる反射後、ビーム b 及び b_1 はビーム分割器により再度分割される。分離された整列ユニット170,180はこれらのビームのそれぞれに対して存在する。これらユニットのそれぞれは整列ビームを発し基板マークから来る異なる回折次数の副ビームを、ビーム分割器を経て、受け取る。これらのユニットのそれぞれにおいて、基板マークの像は、図4を参照して記述されたように、異なる基準回折格子上に異なる副ビームで形成される。この目的のために、各ユニットには、レンズシステム L_1 , L_2 (L_1' , L_2')、楔板 WEP(WEP')と図8又は1連の楔型板、基準回折格子 RGP(RGP.)を持つ板、多数の検出器 $90 \sim 96$ ($90' \sim 96'$)、及びそのビームが結合プリズム 72 ($72'$) を経て該システムに結合されている光源、が与えられる。

図12は、特別で且つ好ましい種類のビーム分割器160が使用されている整列ユニットの実施例の一部を示す。このビーム分割器は、偏光に敏感なビーム分割プリズム210、 $1/4$ 波長板211及び反射器212を有し、異なる波長を持ち、ここには示されていない源から来るビーム b_1 、及び b_{11} は太線で、回折格子マーク P_1 により反射されるビームは細線で示されている。ビーム b_1 、及び b_{11} は同一の偏光方向を有する。第1ビーム b_{11} はプリズム210内の偏光に敏感なビーム分割層213に向けて反射器215により反射される。この層はビーム b_1 を回折格子マーク P_1 に向けて反射する。回折格子マークにより反射され且つ異なる回折次数の副ビームに分割された光は1個の単一ビーム光線 b_{12} によって表現される。ビーム

b_{12} は図12には示されていない偏光素子及び検出器の関連する構造体へ向けて層213により反射される。

第2のビーム b_{11} は $1/4$ 波長板211に向けてビームを反射するビーム分割層213に向けて反射器216により反射される。このビーム b_{11} がこの板を通過後、この板の裏面において反射層212により反射され、板211を再度通過する。板211を離れるビーム b_{12} は当初のビーム b_{11} の偏光方向に関し 90° 以上回転している偏光方向を有する。ビーム b_{12} はビーム分割層213を通過することができて、回折格子マーク

(30)

特表2000-511004

P₁に到達する。このマークにより反射される光も単一ビーム光線b₁により示される。このビームは先ずビーム分割層213を通過し、次いで1/4波長板211を2度横切り、最後に図12には示されていない楔及び検出器の関連する構造体に向けて層213により反射される。図12において反射されたビームb₁及びb_{1'}が空間的に分離されたビームとして表現されているのは、単に明瞭化のためのみであり、実際はこれらのビームは一致している。同じことがマークP₂の位置におけるビームb₂及びb_{2'}についても言える。

図11及び12の実施例において、第1レンズシステムL₁は図12に示すようにビーム分割器216と回折格子マークP₁の間に配置されるのが好ましい。これは、異なる波長の2個のビームに対して、ただ1個のそのようなレンズシステムを必要とすると言う追加の利点を有する。反射されたビームに対して、図12には示されていない別の第2のレンズシステムが必要であることは残る。

上記の種々の実施例では、検出器は、基準回折格子の背後に直接に配置される。しかし実際は、基準回折格子の背後に一束の映像用ファイバ(imaging fibers)が用意されるであろうが、これらは各基準回折格子及び離れた位置の検出器における基板回折格子マークの重ね合わされた像の像を作成するが、このことは装置全体の設計に関し且つこの装置の性能に関し一層好都合である。例えば、異なる回折次数の副ビームにより形成される像の間の漏話を減少することができ、信号増幅器及び電子的処理装置から発生する熱は整列ユニット及び装置から遠ざけることができる。光源も整列ユニットから離れた位置に配置され、それらの光も該ユニットへファイバの照明束で導くことができる。このようにして、光源により発生される熱は整列ユニット及び投射装置から放しておくことができる。

プリズム216と第2レンズシステムL₂の間で、ビームb₁及びb_{1'}の1個に対して、この装置の操作者に基板マークの可視像をモニターにより提供するカメラに向けてこのビームの一部をスピノフするために部分的に透過する反射器が与えられるであろう。

各種の検出信号を使用するのに色々な可能性がある。これらの副ビームに関する検出器の信号を処理することにより第1次副ビームの手段による整列から開

(31)

特表2000-511004

始される。引き続き、第2次副ビームに関係する検出器の信号は一層詳細な整列に使用され、次いで第3次副ビームに関係する検出器の信号は更に詳細な整列に使用され、この過程はさらに次へと進むであろう。これは使用される副ビームが信頼できる方法で検出されるのに十分な照度を持つ限り継続されるであろう。

他の可能性は、ある回折次数の照度は、特定の処理層が基板上に与えられれば他の回折次数の犠牲において増加することの認識に基づく。その場合、好ましい次数の直接の選択は整列に対してなされる。実際の環境では、上記の可能性は組み合わせることもできる。

一度に製造された基板をマスクパターンで照明する前、又は製造日の始めに整列ユニットを校正することも可能である。基板マークの多数の位置に対して、各回折次数に対して検出信号が測定される。これらの測定結果は基板マークの各位置に対して各回折次数に対する検出信号値を示めすグラフ又は表にして蓄積される。基板を照明している間、配置測定は例えば最初の3個の次数である低い回折次数の比較的大きな検出信号のみを測定することにより実行できる。例えば第7次の高い回折次数に対して、対応する数値を補間法により決定できる。この方法により、整列誤差を高い解像度及び大きな信号振幅で決定できる。

ここまで、基準回折格子の形をする装置基準に関連してのみの基板整列が記述された。同一の整列ユニットにより基板保持器又はテーブルの位置も決定できる。その目的のために、この保持器又はテーブルは基板整列マークに類似の整列マークが与えられる。基板保持器マークに関連しての基板マークの位置はその時に知られる。マスクパターンと基板の相対位置が固定できるために、基板保持器又はテーブルに関連してのマスクパターンの位置の測定である追加の測定が必要である。この追加の測定のために、図1、図2及び図3を参照して記述された、マス

クマークが基板保持器のマークに関して整列される軸上整列ユニットが使用されるであろう。図3に示される2重整列ユニットのみでなく、米国特許第4,251,160号に記述の単一整列ユニットも使用されるであろう。

基板テーブルに関してマスクパターンを整列する他の1つの可能性は、例えば

(32)

特表2000-511004

米国特許第4,540,277号に記述のイメージセンサユニットの使用である。そのようなユニットにおいては、マスク整列マークは基板テーブル上の対応し且つ伝達できる基準マーク上への投射の手段により像が作られる。このテーブル上に検出器が基準マークを通過する光を電気信号に変換するために基準マークの背後に配置されるであろう。第1段階で、このイメージセンサユニットは、例えば、投射光の波長とは可成り異なる波長を持つ整列光と共に動作する軸上配置ユニットを校正するか、又は投射レンズシステムに寄り形られる像の像品質をチェックし且つ発生するであろう歪みと収差を測定することを意図しているが、又マスクパターンを基板テーブルに関し整列するのに極めて適切である。米国特許第4,540,277号に記述の送信イメージセンサの代わりに、反射において動作するイメージセンサユニットがそれに代わってマスクマークを基板テーブルマークに関して整列するために使用されるかもしれない。米国特許第5,144,363号に記述のそのようなユニットは、該テーブル上の反射マークと共に動作し且つ異なる角度から該マークを観測し、関連するレンズシステムと共に投射レンズシステムと基板テーブルの間に配置されるセンサ板に供給される可成り多数の検出器を有する。

本発明に準拠の離軸整列ユニットは、又このスペースに供給されねばならない。これは基板テーブルの中心に出来る限り接近して配置されねばならず、且つ例えば0.3の開口を持つ円錐形の組み立てスペースを必要とする。実際には、基板テーブルのY方向へスライドする長さは、そのために投射装置が設計された例えば8インチ基板に対して102mmである基板の半径にはほぼ対応するため、この方向に整列ユニットに組み込む余地は殆どない。しかし、基板テーブルのX方向へのスライドは例えばY方向へのスライドより25mm長いので、8インチ基板を取り扱うことが可能な整列ユニットは投射レンズシステムの光軸から25mmの距離に置くことができる。これは、投射レンズシステムPLの一部及びその光軸 OO' を示す図13に非常に概念的に図示されている。投射レンズシステムと基板との間の暗い部分

は投射ビームに専有されるスペースを示し、bの記号で示される矢印は整列放射の副ビームを表示する。整列ビームは例えば25mmの距離である軸 OO' からdxの距

(33)

特表2000-511004

離にある基板上への入射である。参照記号CSは利用できるスペースの臨界位置を表示する。この位置において、異なる回折次数を持つ副ビームが存在する円錐の直径は、基板までの距離に開口値を2倍した値を乗じた値に等しい。開口値が0.25で上記の直径である上記の距離が32mmの値に対して、CSの位置における要求される垂直間隔は16mmである。これは実行上合理的な値である。しかし、この垂直間隔は完全に確保できないであろう。そのような場合、相互に正反対に配置され、且つそれぞれが基板の一部を覆うことのできる2個の離軸整列ユニットが使用されるであろう。

図14はOAS-1及びOAS-2で表示されるこれら2個の離軸整列ユニットの測定スポットを示す。輪郭で示されるこの図は、基板液はWで示される中央位置及びスポットOAS-1とOAS-2がその範囲内にあるW'とW''で示される2個の位置において示される。これらの指定されたエリアは離軸整列ユニットの範囲内の基板のエリアを示す。基板の白色の、中央の帯及び左上部と右下部はユニットOAS-1とOAS-2の範囲内にないため、これらのユニットと協調しなければならない基板マークは、基板の白色エリアの外で灰色エリアの内部に与えられねばならないことは明白であろう。位置決定の目的のために、図14は、+Xと-X方向(IS+X, IS-X)及び+Yと-Y方向(IS+Y, IS-Y)に対する反射イメージセンサユニットの別個のブランチ並びにLS-Q, LS+Q, LS+P及びLS-Pで表示される焦点とレベルユニットの構成要素も示す。そのようなユニットは米国特許第5,191,200号に記載され、焦点合わせ誤差、従って投射レンズシステムの結像面と感光層平面との間の偏りの測定、及び基板の全体又は部分的傾斜の測定に使用される。

反射イメージセンサIS又はそのIS-Y部分が図14の実施例から除外されれば、図14の破線円OAS-3により示されるように、例えば距離65mmにおいて、測定スポットは投射システムの軸に一層近く配置されるように離軸配置を設定することが可能となる。この場合、単一の離軸整列ユニットの範囲はウエーハ全体をカバーするのに十分であり、ただ1個のそのようなユニットで足りる。

個々のパラメータに対する上記の数値は単に例示の方法として概要説明のため

に与えたのに過ぎない。これらの数値は各種の装置において非常に違っているで

あろう。

上述のように、離軸整列ユニットは、リトグラフ投射装置のマスク保持器、投射システム及び基板保持器を有する投射柱中に配置される。一層細かな細部、従って一層多くの素子を有する一層大型のICの要求の増加と共に、整列処理は一層時間を消費するようになる。従ってこれらの装置の処理能力は一層の対策がなければ低下する。既にそのような装置に別の測定機器を付加することが既に提案されている。例えば、この機器では、基板のX、Y及びZ方向における位置は、このウェーハが投射柱又は投射装置に持ち込まれる以前に測定される。測定機器において、基板マークは基板保持器又はテーブル上で整列マークに関し整列されることができる。保持器と共に基板が投射システムに置かれた後、マスク整列マークが基板保持器マークに関して整列されるのみで足り、それは短時間で実施される。個別の測定機器と投射機器を有する装置内で、投射機器において第1の基板が照射されている間に第2の基板が測定機器中で測定されているので、この装置の処理能力は分離された測定機器がない装置に比して相当に大きくなる。基板マークを基板保持器マークに関して整列するために測定機器内で使用される整列ユニットは、上記のように離軸整列システムが望ましい。

本発明は、ICの製造のための基板上のマスクパターンのステップ・アンド・スキャン作像のための装置へのその使用を参照して記述されているが、これは、それがこれに限定されていることを意味はしない。本発明は、他の方法として、組み合わされたか又は全体的な光学システム、磁区メモリのためのガイダンスと検出パターン、又は液晶ディスプレイパネル製造のための装置に使用できるであろう。投射装置は、投射ビームが電磁ふく射であり且つ投射システムが光学的投射システムである光学的装置のみでなく、例えば電子レンズシステムである関連する投射システムが使用される投射ビームが電子ビーム、イオンビーム又はX線のような荷電粒子ビームである装置であってもよい。一般的に、本発明は、極めて細かな細部を持つ像が形られねばならない作像システムに使用されるであろう。

(35)

特表2000-511004

【图 1】

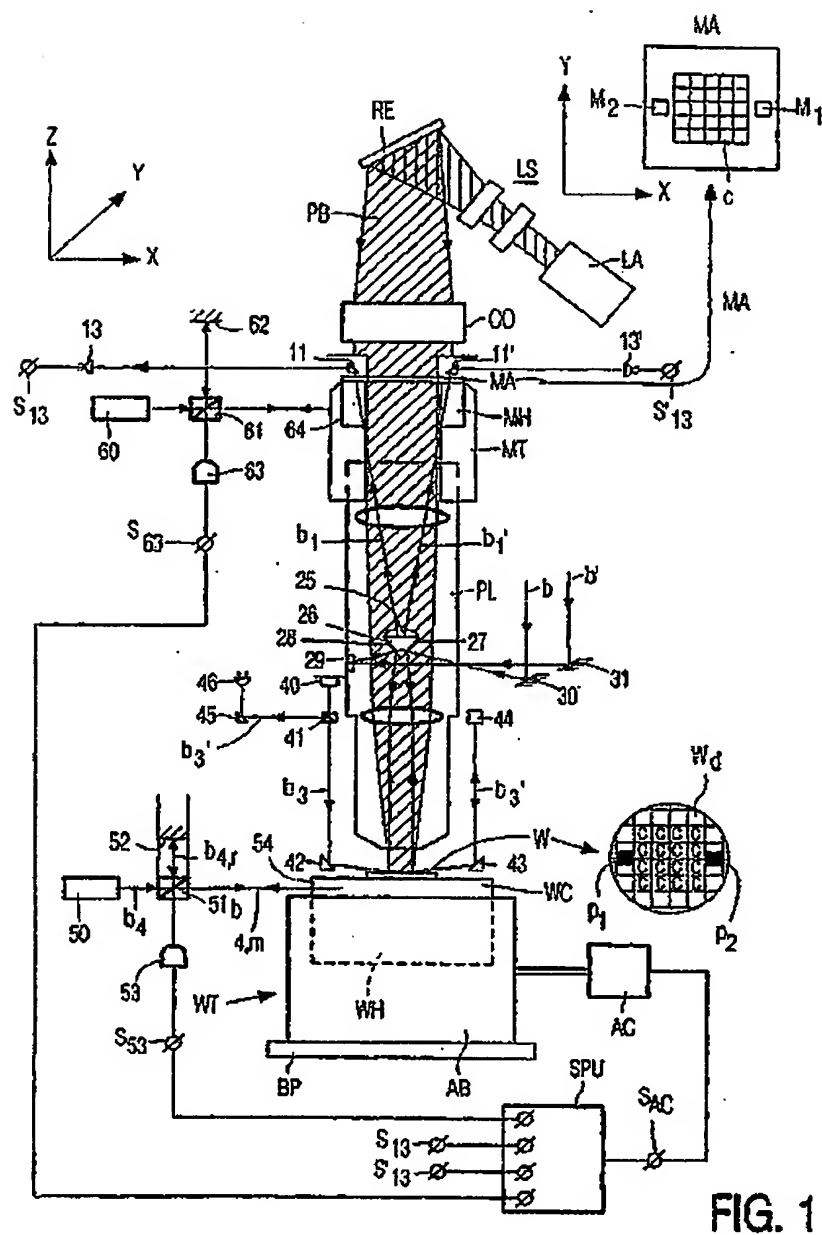


FIG. 1

(36)

特表2000-511004

【図2】

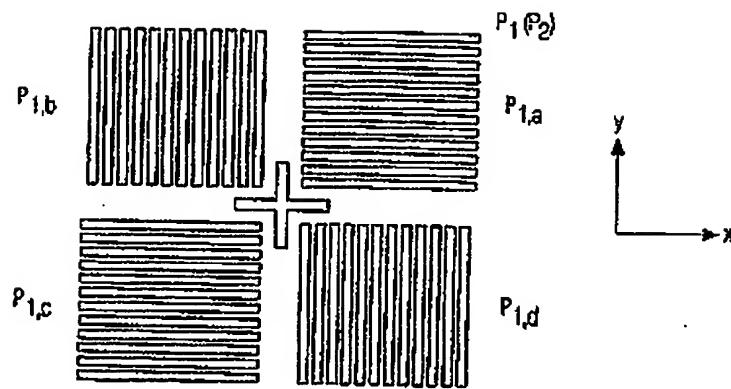


FIG. 2

【図4】

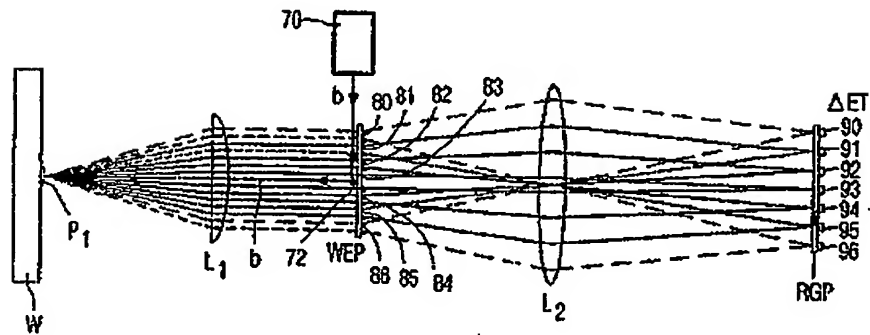


FIG. 4

(37)

特表2000-511004

【図 3】

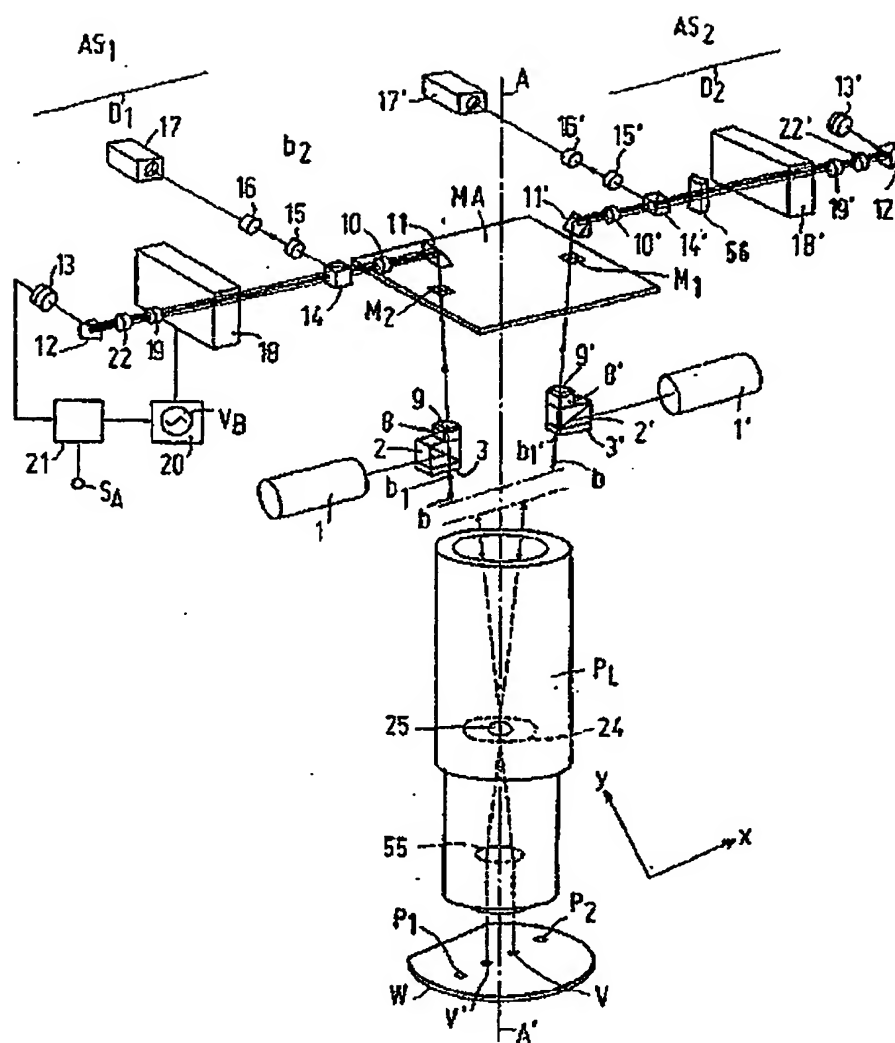


FIG. 3

(38)

特表2000-511004

【図5】

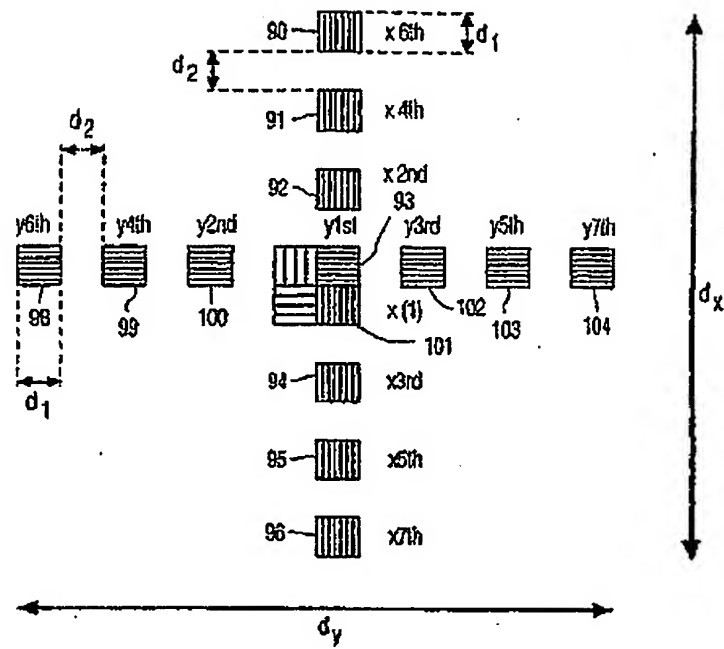


FIG. 5

(39)

特表2000-511004

【図 6】

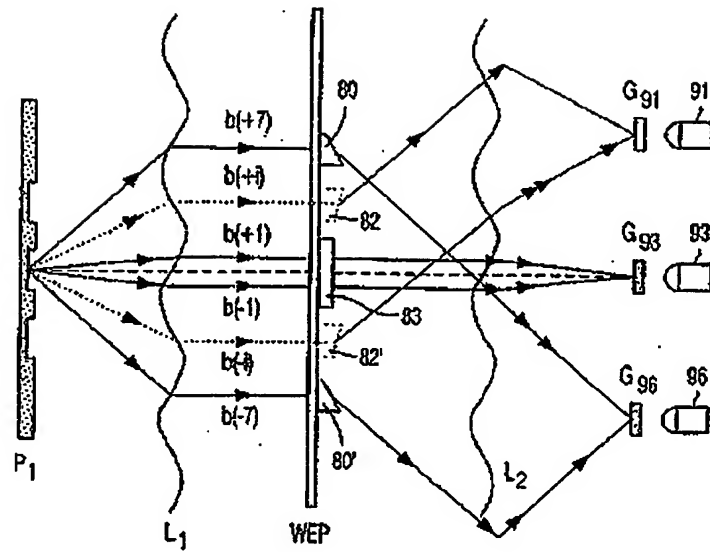


FIG. 6

【図 7】

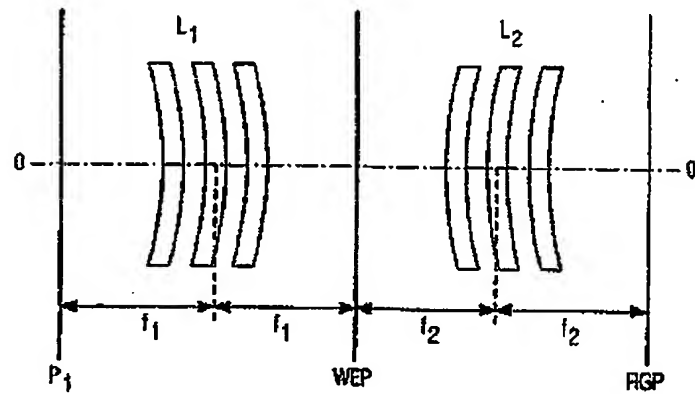


FIG. 7

(40)

特表2000-511004

【図8】

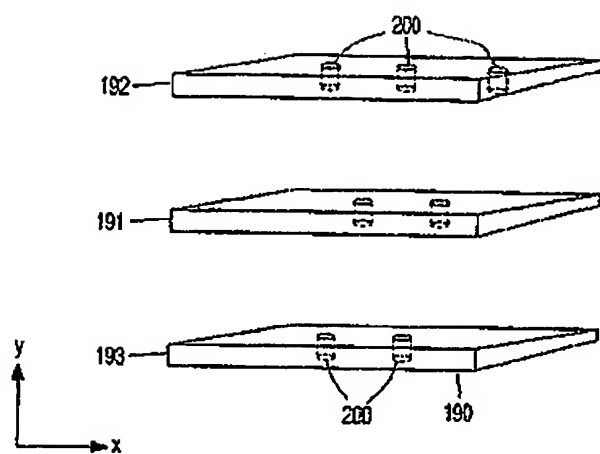


FIG. 8

【図9】

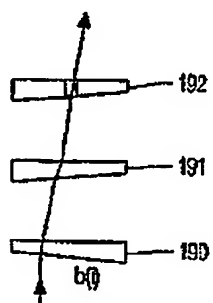


FIG. 9

(41)

特表2000-511004

【図10】

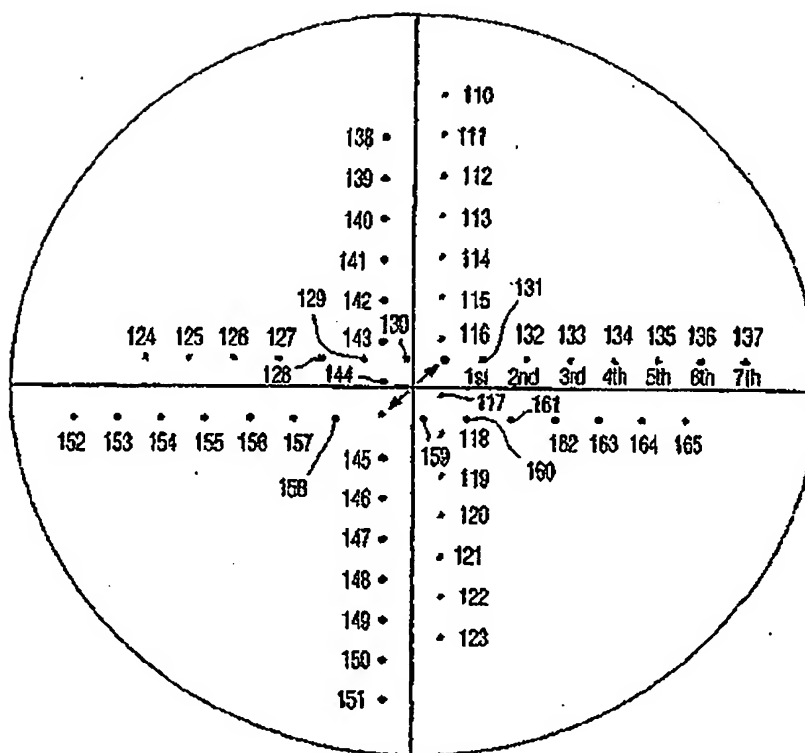


FIG. 10

(42)

特表2000-511004

【図11】

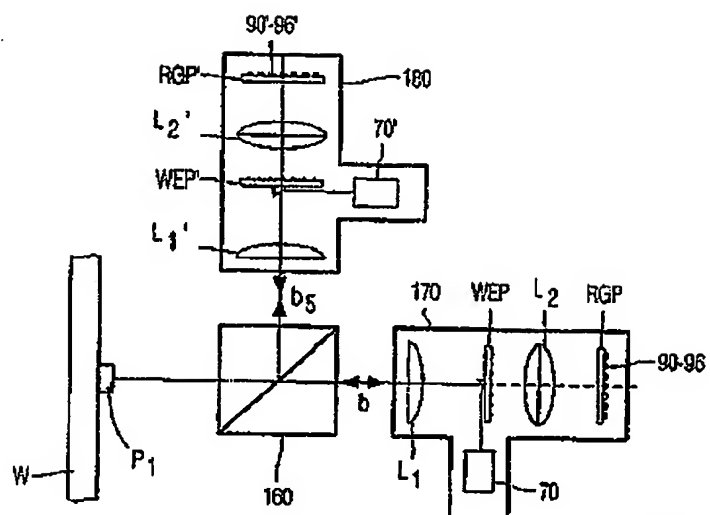


FIG. 11

(43)

特表2000-511004

【図12】

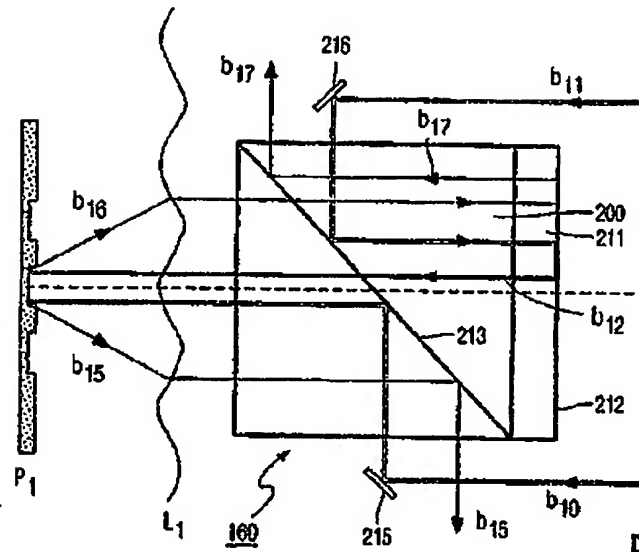


FIG. 12

【図13】

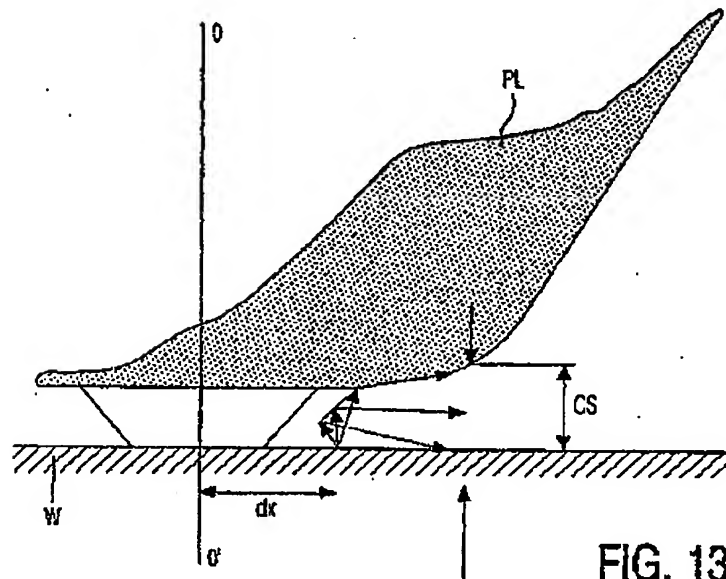


FIG. 13

(45)

特表2000-511004

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int'l. Application No. PCT/IB 98/00261
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 G03F9/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FILES SEARCHED Minimum documentation system(s) (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G03F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the files searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where pertinent, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 870 452 A (MIYAJI AKIRA ET AL) 26 September 1989 cited in the application see column 2, line 40 - column 3, line 61 see figure 1 ---	1, 16
A	US 4 828 392 A (MATSUMURA TAKAYOSHI ET AL) 9 May 1989 cited in the application see column 5, line 8 - column 7, line 9 see figures 4-7 ---	1, 16
A	US 5 583 609 A (MIZUTANI HIDEO ET AL) 10 December 1996 see column 6, line 45 - column 7, line 15 see figure 3 --- -/-	1, 16
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special designations of cited documents: "A" document claiming the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document text published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special remarks (see special list) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" other document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle of the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 19 May 1998		Date of mailing of the international search report 28/05/1998
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 1601, 7000 Lausanne 2 Switzerland Tel: (+41-22) 3659510, Telex: 821 801 eptn ch Fax: (+41-22) 3659510		Authorized officer Heryet, C

Form PCT/ISA/210 (second ed.) July 1992

(46)

特表2000-511004

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No.
PCT/IB 98/00261

O/Continued DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 467 445 A (ASR LITHOGRAPHY BV) 22 January 1992 cited in the application see column 10, line 13 - column 11, line 5 see column 17, line 25 - line 43 see figures 1,9	1,16

Form PCT/IB 98/10 to be filled in on second sheet (July 1992)

(47)

特表2000-511004

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/JP 98/00261

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4870452 A	26-09-1989	JP 1014918 A	19-01-1989
US 4828392 A	09-05-1989	JP 61208220 A	16-09-1986
		JP 61228449 A	11-10-1986
		JP 1880996 C	21-10-1994
		JP 5005661 B	19-01-1994
		JP 61264727 A	22-11-1986
US 5583609 A	10-12-1996	JP 6310404 A	04-11-1994
		JP 8124830 A	17-05-1996
EP 0467445 A	22-01-1992	NL 9001611 A	17-02-1992
		JP 4233218 A	21-08-1992
		US 5481362 A	02-01-1996

PCT/JP98/00261 (JP98-00261)

LITHOGRAPHIC PROJECTION APPARATUS WITH OFF-AXIS ALIGNMENT UNIT

Description of corresponding document:
WO9839689

 Translate this text

LITHOGRAPHIC PROJECTION APPARATUS WITH OFF-AXIS ALIGNMENT UNIT

The invention relates to a lithographic projection apparatus comprising a radiation source supplying a projection beam, a mask holder, a substrate holder and a projection system arranged between the mask holder and the substrate holder, said apparatus further comprising an alignment system for ultimately aligning a substrate, provided in the substrate holder, with respect to a mask provided in the mask holder, said alignment system comprising an off-axis alignment unit for aligning an alignment mark, provided on a substrate, with respect to a reference.

Ultimate alignment is understood to mean that, although in the first instance said alignment unit is used for aligning a substrate with respect to a reference, the result of this alignment step is used in combination with other measurements for aligning the substrate with respect to the mask.

The lithographic projection apparatus is an essential component in the manufacture of integrated circuits, or ICs, by means of diffusion and masking techniques.

With the aid of this apparatus, a number of masks having different mask patterns are successively imaged at the same position on a semiconductor substrate. The substrate must undergo the desired physical and chemical changes between the successive images at the same position. To this end, the substrate must be removed from the apparatus after it has been exposed with a mask pattern, and, after it has undergone the desired process steps, the substrate must be replaced at the same position again so as to expose it with a second mask pattern, and so forth, while it must be ensured that the images of the second mask pattern and the subsequent mask patterns are positioned accurately with respect to the substrate. To this end, the lithographic projection apparatus is provided with an optical alignment system with which alignment marks on the substrate are aligned with respect to alignment marks on the mask.

A lithographic apparatus may not only be used for the manufacture of ICs but also for the manufacture of other structures having detailed dimensions of the order of 1 micrometer. Examples are structures of integrated, or plenary, optical systems or guiding and detection patterns of magnetic domain memories, and structures of liquid crystal display panels. Also in the manufacture of these structures, images of mask patterns must be aligned very accurately with respect to a substrate.

The lithographic projection apparatus may be a stepping apparatus or a step-and-scan apparatus. In a stepping apparatus, the mask pattern is imaged in one run on an IC area of the substrate. Subsequently, the substrate is moved with respect to the mask in such a way that a subsequent IC area will be situated under the mask pattern and the projection lens system and the mask pattern is imaged on the subsequent IC area. This process is repeated until all IC areas of the substrate are provided with a mask pattern image.

In a step-and-scan apparatus, the above-mentioned stepping procedure is also followed, but the mask pattern is not imaged in one run but via scanning movement. During imaging of the mask pattern, the substrate is moved synchronously with the mask with respect to the projection system and the projection beam, taking the magnification of the projection system into account. A series of juxtaposed partial images of consecutively exposed parts of the mask pattern is imaged in an IC area. After the mask pattern has been completely imaged in an IC area, a step is made to a subsequent IC area. A possible scanning procedure is described in the article: "Sub-micron 1:1 Optical Lithography" by D.A. Markle in the magazine "Semiconductors International" of May 1986, pp. 137-142.

US Patent 5,243,195 discloses an optical lithographic projection apparatus provided with an alignment system and intended for the manufacture of ICs. This alignment system comprises an off-axis alignment unit for aligning a substrate alignment mark with respect to this alignment unit. In addition, this alignment system comprises a second alignment unit for aligning a substrate mark with respect to a mask mark via the projection lens (TTL). Alignment via the projection lens (on-axis alignment) is the most frequently used method in the current generation of optical lithographic projection apparatuses and provides the advantage that the substrate and the mask can be aligned directly, and thus very accurately, with respect to each other. When the off-axis alignment method is used, the baseline offset as described in US Patent 5,243,195 must be taken into account.

The on-axis alignment method has hitherto worked to full satisfaction, but it is to be expected that this

alignment method may present problems with regard to reliability and accuracy when novel technologies are used in the IC manufacture and when the detailed sizes, or line widths, of the IC patterns decrease.

In connection with the increasing number of electronic components per unit of surface area of the substrate and the resultant smaller dimensions of these components, increasingly stricter requirements are imposed on the accuracy with which integrated circuits are made. The positions where the successive masks are imaged on the substrate must therefore be fixed more and more accurately. In the manufacture of new-generation ICs with smaller line widths, the alignment accuracy will have to be improved or, in other words, it must be possible to detect smaller deviations so that the resolving power of the alignment system must be increased. On the other hand, stricter requirements must also be imposed on the planeness of the substrate due to the required higher numerical aperture (NA) of the projection lens system in the case of decreasing line widths. The depth of focus of this system decreases as the NA increases. Since some image field curvature occurs at the desired relatively large image field of the projection lens system, there is hardly any room left for unevennesses of the substrate. To obtain the desired planeness of the substrate, it has been proposed to polish this substrate by means of the chemical mechanical polishing (CMP) process between two consecutive exposures with different mask patterns in the projection apparatus. However, this polishing process affects the accuracy of the on-axis alignment method. In this method, a grating is used as a substrate alignment mark and the sub-beams diffracted in the first order by this grating are used for imaging the substrate mark on the mask mark. In this process, it is assumed that the substrate is aligned correctly with respect to the mask when the point of gravity of the substrate grating mark is aligned with respect to the point of gravity of the mask alignment mark. In that case it has been assumed that the point of gravity for each grating mark coincides with the geometrical center of the grating.

However, said CMP process renders the substrate grating mark asymmetrical so that this alignment method is no longer reliable.

Furthermore, the manufacturing process for new-generation ICs is becoming more and more complicated: the number of process steps and the number of process layers on the substrate increase more and more. Some of these layers also introduce asymmetries in the substrate grating mark and hence alignment errors

Moreover, when the known on-axis alignment method is used, strict requirements must be imposed on the depth of the grating grooves of the substrate mark which is a phase grating.

It is an object of the present invention to provide an alignment system for a lithographic projection apparatus in which the influence of said effects on the alignment signal is reduced considerably and which is more accurate and reliable than known alignment systems. To this end, the system according to the invention is characterized in that the alignment mark is a diffractive mark and in that the alignment unit is adapted to separately detect a number of at least three sub-beams diffracted by the diffractive mark in different diffraction orders which are higher than 0, each sub-beam comprising an indication about the position of the substrate mark with respect to the reference.

Adapting the alignment unit such that it separately detects at least three subbeams with different diffraction orders does not mean that three or more sub-beams have to be detected simultaneously, but means that the alignment unit provides the possibility to separately detect all these sub-beams. In practice sub-beams can be detected or not and simultaneously or not.

A diffractive mark is a mark that splits a beam of electro-magnetic radiation into a number of sub-beams of different diffraction orders. Such mark may be constituted by a diffraction grating or by another diffraction element.

The invention is based on the recognition that better use can be made of the properties of a diffractive alignment mark if this mark is no longer used in combination with an on-axis alignment unit but in combination with an off-axis alignment unit. As described in US Patent 4,251,160, an image of the substrate grating having a period which is half the period of the substrate grating itself is obtained in an on-axis alignment unit in which a diffraction grating is used as a substrate alignment mark and in which only the first-order sub-beams of the substrate grating are used for imaging this mark on a corresponding grating alignment mark. Consequently, the alignment accuracy is twice as great as in the case where also the zero order sub-beam and the higher-order sub-beams would jointly be used for this image. In the alignment unit described in US Patent 4,251,160, the first-order sub-beams are selected by an order diaphragm incorporated in the projection lens. Such a diaphragm considerably complicates the design of the projector lens which is already complicated anyway, and providing the projection lens with an order diaphragm which also passes higher orders, i.e. orders higher than 1, is not very well possible. By providing a diffractive alignment mark in an off-axis alignment unit, a great extent of freedom is created to select higher-order sub beams of this alignment mark. The fact that, as a higher order is selected, the resolving power of the alignment unit is enhanced, may then be used to advantage.

The invention is also based on the recognition that the higher-order subbeams are determined by the edge of a grating mark rather than by its center and that, as compared with the center, these edges are less vulnerable to the CMP process or to other measures affecting the asymmetry of the grating. By using the higher-order sub-beams, not only the problem of asymmetric alignment gratings is eliminated, but the accuracy of the alignment unit is also enhanced.

It is to be noted that it is known from US Patent 4,828,392 to make use of a plurality of higher-order sub-beams from the substrate mark for aligning a substrate with an asymmetric alignment mark. However, the asymmetric mark is a mark whose grating grooves are asymmetrical with respect to the centerline of these grooves. However, use is made of an order diaphragm which must be incorporated in the projection lens system and must be provided with a large number of apertures. The quality of the image of the mask pattern proper on the substrate is thereby undoubtedly affected.

US Patent 5,477,057 also describes an off-axis alignment unit for a scanning lithographic apparatus. A separate alignment sensor head for aligning a substrate mark with respect to an apparatus reference is arranged next to and against the projection lens system. The reason for using an off-axis alignment unit is the wish to use a wide-band alignment radiation which cannot adequately be transmitted by the monochromatic projection lens system. The Patent does not describe a diffractive alignment mark or states the use of a plurality of higher-order sub-beams during alignment.

US Patent 4,870,452 describes an off-axis alignment unit for the substrate in which a plane-parallel plate is arranged between the projection lens system and the substrate. This plate is completely transparent to the projection beam but has a different reflection and transmission coefficient for the alignment beam. This plate must ensure that the alignment beam is incident at an acute angle to the substrate alignment mark and, after reflection, is directed at a given angle onto the detection system by this mark. The substrate mark may be, for example a grating mark and separate detectors may be provided for the sub-beams formed by this mark with different diffraction orders. However, only the 0-order, the 1-order and the 2-order sub-beam are used for the detection. It is not clear why beside the 1-order, also the 0-order and the 2-order sub-beams are used. In practice, it will be preferred not to provide a plane-parallel plate between the projection lens system and the substrate and it is doubtful whether this plate can separate the different orders to a sufficient extent.

A preferred embodiment of the projection apparatus according to the invention is further characterized in that said reference consists of a structure of a number of separate reference elements equal to the number of used diffraction orders and having the same shape as the substrate alignment mark, and in that a separate detector is associated with each of these elements for converting the sub-beam coming from the substrate mark and passed by the relevant diffractive reference element into an electric signal.

The apparatus may further be characterized in that the reference elements are gratings.

The alignment detection is then based on a grating-to-grating image which has proved to be reliable in the past.

To achieve that the sub-beams of the different diffraction orders can be detected in a well-separated manner without the alignment unit becoming too voluminous, the apparatus is preferably further characterized in that the radiation path between the substrate mark and the reference elements successively incorporates a first lens system, a structure of deflection elements arranged the paths of the sub-beams from the first lens system to give the separate sub-beams different directions, and a second lens system arranged behind said deflection elements for concentrating the sub-beams on the associated diffractive reference elements.

This embodiment is preferably further characterized in that the distance between the plane of the substrate mark and the first lens system is equal to the focal length of the first lens system, in that the distance between the second lens system and the plane of the reference elements is equal to the focal length of the second lens system and in that the distance between the first lens system and the second lens system is equal to the sum of the focal length of the first lens system and that of the second lens system.

The two lens systems together then constitute a telecentric lens system and the axial position of the structure of deflection elements is not critical anymore.

The apparatus is preferably further characterized in that the structure of deflection elements comprises a pair of deflection elements for each diffraction order to deflect the sub-beams of this diffraction order with opposed diffraction order signs such that the second lens system converges these sub-beams on one associated reference element.

Then, both the plus orders and the minus orders of the substrate mark are used for imaging this mark on the reference elements and optimal use is made of the available alignment radiation.

Several embodiments of the structure of deflection elements are possible. A first embodiment is characterized in that it comprises a number of discrete optical wedges, which number is equal to the number of sub-beams.

These wedges may be manufactured as separate elements and then fixed to a common transparent carrier plate. Preferably, the discrete wedges are manufactured in one process step by a replication technique, well-known in the optical art. A negative of the whole structure of wedges, present in a mould, is then printed in a layer of synthetic, for example, UV curable material provided on, for example, a plate of quartz.

Severe requirements are to be set to the mutual accuracy of, for example, the slope of the wedge surfaces of two wedges which are used for deflecting the +order and order sub-beams of the same diffraction order. These requirements can be satisfied more easily in a second embodiment of the structure of deflection elements which is characterized in that it comprises a number of wedge-shaped transparent plates which are arranged one behind the other in the path of the sub-beams and have different wedge angles and a number of openings to pass radiation undeflected, the number of openings and their positions being such that with a combination of n plates $2n$ diffraction orders can be deflected in different directions in a binary way.

These wedges have the advantage that they can be manufactured relatively easily with the desired precision.

The substrate alignment mark may be a linear grating. When designing such a grating, the desired distribution of the radiation among the different diffraction orders can be taken into account.

To be able to align in two mutually perpendicular directions, the apparatus is further characterized in that the substrate mark comprises two grating portions, in which the direction of the grating strips of the first grating portion is perpendicular to that of the grating strips of the second grating portion in that the structure of deflection elements is a two-dimensional structure and in that the reference is a two-dimensional reference.

The apparatus is preferably further characterized in that the off-axis alignment unit comprises two radiation sources which supply beams of different wavelengths, and a beam splitter for combining the two beams on their path to the substrate mark and for splitting the beams reflected by this mark, and in that a separate structure of deflection elements and reference elements is present for each of these beams.

It is then not necessary to impose strict requirements on the groove depth of the substrate mark.

A practical embodiment of the apparatus is further characterized in that a second off-axis alignment unit is present, and in that the first-mentioned alignment unit and the second alignment unit are arranged diametrically with respect to the projection system.

The off-axis alignment system can also be used for aligning a further alignment mark on the substrate holder with respect to the reference. Then the alignment of the substrate mark with respect to the substrate holder mark can be determined.

To be able to realize the ultimate alignment of the mask pattern with respect to the substrate, the apparatus is further characterized in that the alignment system also comprises an on-axis alignment unit for aligning the substrate holder with respect to the mask pattern.

The on-axis alignment unit may be of the type comprising a radiation source which emits a beam having a wavelength which is different from that of the projection beam, but may be alternatively constituted by an image sensor operating with projection radiation.

The invention can also be used in lithographic apparatus which comprises a projection station for projecting a mask pattern onto a first substrate and a measuring station for measuring the position of a second substrate. An embodiment of such apparatus, having two substrate stages which commute between the measuring station and the projection station is shown in US-A 4,861,162. Such apparatus has the advantage that its throughput, i.e. the number of wafers that can be processed in one hour, is considerably larger than that of a comparable apparatus having only a projection station and no measuring station.

A dual station lithographic projection apparatus wherein the invention is implemented is characterized in

that the measuring station comprises an off-axis alignment unit as described above.

These and other aspects of the invention are apparent from and will be elucidated with reference to the embodiments described hereinafter.

In the drawings:

Fig. 1 shows an embodiment of a step-and-scan projection apparatus with the various measuring systems;
 Fig. 2 shows an embodiment of a substrate alignment mark;
 Fig. 3 shows an embodiment of a double alignment unit for aligning a mask mark and a substrate mark with respect to each other;
 Fig. 4 shows an embodiment of an off-axis alignment unit according to the invention;
 Fig. 5 shows a plate with reference gratings used in this embodiment;
 Fig. 6 shows the deflection by the wedge elements in this embodiment;
 Fig. 7 shows a preferred arrangement of the first and second lens systems in the alignment unit;
 Fig. 8 shows a series of wedge-shaped plates to be used as the structure of deflection elements in a second embodiment of the alignment unit;
 Fig. 9 illustrates how this series deflects a sub-beam;
 Fig. 10 shows the positions of the sub-beams in the plane of this plate in an embodiment of the alignment unit in which alignment radiation with two wavelengths is used;
 Fig. 11 shows an embodiment of the alignment unit in which two wavelengths are used;
 Fig. 12 shows a preferred beam splitter for use in this embodiment;
 Fig. 13 shows the position of the alignment unit with respect to the projection lens and the substrate, and
 Fig. 14 shows the positions of the sub-units of a double alignment unit with respect to an image sensor unit and a focusing and leveling unit of the projection apparatus.

For better understanding of the present invention, a known optical lithographic projection apparatus provided with an on-axis alignment unit and other measuring systems, in which the invention may be used, will be described first.

Fig. 1 shows diagrammatically the optical elements of an embodiment of such an apparatus for step-and-scan imaging a mask pattern on a substrate. This apparatus comprises, as its main component, a projection column incorporating a projection system PL.

Situated above this system is a mask holder MH for a mask MA in which the mask pattern C to be imaged is provided. The mask holder is part of a mask stage MT. A substrate stage WT is arranged below the projection lens system PL. This table comprises a substrate holder WH for a substrate W provided with a photosensitive layer. The mask pattern C must be imaged a number of times in the photosensitive layer, every time in a different area, an IC area Wd. The substrate table is movable in the X and Y directions so that, after imaging the mask pattern in a first IC area, a subsequent IC area can be positioned under the mask pattern.

The apparatus further comprises an illumination system which is provided with a radiation source LA, for example a Krypton-Fluoride Excimer laser or a mercury lamp, a lens system LS, a mirror RE and a condensor lens CO. The projection beam PB supplied by the illumination system illuminates the mask pattern C. This pattern is imaged by the projection lens system PL on an IC area of the substrate W. The projection lens system has, for example, a magnification $M = 1/4$, a numerical aperture $NA = 0.6$ and a diffraction-limited image field with a diameter of 22 mm.

The apparatus is further provided with a number of measuring systems, namely a system for aligning the mask MA and the substrate W with respect to each other in the XY plane, an interferometer system for determining the position and orientation of the substrate holder and hence of the substrate, and a focus error detection system for determining a difference between the focal or image plane of the projection lens system PL and the surface of the substrate W. These measuring systems are parts of servosystems which comprise electronic signal-processing and control circuits and drivers, or actuators, with which the position and orientation of the substrate and the focusing can be corrected with reference to the signals supplied by the measuring systems.

The alignment system makes use of two alignment marks M, and M2 in the mask MA shown in the top right part of Fig. 1. As is shown in Fig. 2, these marks preferably consist of diffraction gratings but may be alternatively constituted by other marks such as squares or strips which are optically distinguished from their surroundings. The alignment marks are preferably two-dimensional, i.e. they extend in two mutually perpendicular directions, the X and Y directions in Fig. 1. The substrate W, for example a semiconductor substrate, has at least two alignment marks, preferably also two-dimensional diffraction gratings, two of which, P, and P2, are shown in Fig. 1. The marks P, and P2 are situated outside the IC areas on the substrate W. The grating marks P, and P2 are preferably implemented as phase gratings and the grating

marks M, and M2 are preferably implemented as amplitude gratings.

Fig. 1 shows a special embodiment of an on-axis alignment unit, namely a double alignment unit in which two alignment beams b and b' are used for aligning the substrate alignment mark P2 on the mask alignment mark M2, and for aligning the substrate alignment mark P, on the mask alignment mark M1, respectively. The beam b is reflected by a reflecting element 30, for example a mirror, towards the reflecting surface 27 of a prism 26. The surface 27 reflects the beam b towards the substrate alignment mark P2 which sends a part of the radiation as beam b , to the associated mask mark M where an image of the mark P2 is formed. Situated above the mark M2 is a reflecting element 11, for example a prism, which directs the radiation passed by the mark M2 towards a radiation-sensitive detector 13.

The second alignment beam b' is reflected by a mirror 31 towards a reflector 29 in the projection lens system PL. This reflector sends the beam b' to a second reflecting surface 28 of the prism 26, which surface directs the beam b' onto the substrate alignment mark P,. This mark reflects a part of the radiation of the beam b' as beam b' , to the mask alignment mark M1 where an image of the mark P, is formed. The radiation of the beam b' , passing through the mark M, is directed by a reflector 11' towards a radiation sensitive detector 13'.

Fig. 2 shows an embodiment of one of the two identical substrate marks, in the form of phase gratings, on a larger scale. Such a grating may consist of four subgratings P1 a. P, b P, c and P1.d' two of which, P1 b and P,.,, serve for alignment in the X direction and the two other ones, P1,a and P1.c, serve for alignment in the Y direction. The two sub-gratings P, b and P1,c have a grating period of, for example 16 μm and the subgratings P1,a and P1,d have a grating period of, for example 17.6 μm . Each sub-grating may have a dimension of, for example 200 x 200 μm . An alignment accuracy which, in principle, is smaller than 0.1 μm can be achieved with this grating mark and a suitable optical system.

By choosing different grating periods, the capture range of the alignment unit can be enlarged. This range is, for example 40 cm.

Fig. 3 shows the optical elements of a, slightly modified, alignment unit in greater detail. The double alignment unit comprises two separate and identical alignment systems AS, and AS2 which are positioned symmetrically with respect to the optical axis AA' of the projection lens system PL. The alignment system AS, is associated with the mask alignment mark M2 and the alignment system AS2 is associated with the mask alignment mark M,. The corresponding elements of the two alignment systems are denoted by the same reference numerals, those of the system AS2 being primed so as to distinguish them from those of the system AS.

The structure of the system AS, will now be described, as well as the way in which the mutual position of the mask mark M2 and, for example, the substrate mark P2 is determined with this system.

The alignment system AS, comprises a radiation source 1, for example a Helium-Neon laser emitting an alignment beam b . This beam is reflected to the substrate W by a beam splitter 2. The beam splitter may consist of a semi-transparent mirror or a semitransparent prism but is preferably constituted by a polarization-sensitive splitting prism 2 preceding a $\lambda/4$ plate 3, in which λ is the wavelength of the beam b . The projection lens system PL focuses the beam b in a small radiation spot V, having a diameter of the order of 1 mm, on the substrate W. This substrate reflects a part of the beam as beam b , towards the mask MA. The beam b , traverses the projection lens system PL, which system images the radiation spot V on the mask. Before the substrate is arranged in the projection apparatus, it has been pre-aligned in a pre-alignment station coupled to the apparatus, for example the station described in EP Patent Application 0 164 165, such that the radiation spot V is located on the substrate mark P beam. With the magnification M of the projection lens system being taken into account, the dimension of the mask mark M2 is adapted to that of the substrate mark P2 so that the image of the mark P2 coincides accurately with the mark M2 when the two marks are mutually positioned correctly.

On its path to and from the substrate W, the beams b and b , have traversed the $\lambda/4$ plate 4 twice, whose optical axis is at an angle of 45° to the direction of polarization of the linearly polarized beam b coming from the source 1. The beam b , passing through the $\lambda/4$ plate then has a direction of polarization which is rotated 90° with respect to the beam b so that the beam b , is passed by the polarization splitting prism. The use of the polarization splitting prism in combination with the $\lambda/4$ plate provides the advantage of a minimal radiation loss when coupling the alignment beam into the radiation path of the alignment system.

The beam b , passed by the alignment mark M2 is reflected by a prism 11 and directed, for example by a further reflecting prism 12 towards a radiation-sensitive detector 13. This detector is, for example a composite photodiode having, for example four separate radiation-sensitive areas in conformity with the number of sub-gratings shown in

Fig. 2. The output signals of the detector areas are a measure of coincidence of the mark M2 with the image

of the substrate mark P2. These signals can be processed electronically and used for moving the mask and the substrate with respect to each other by means of driving systems (not shown), such that the image of the mark P coincides with the mark M. An automatic alignment system is thus obtained.

A beam splitter 14 in the form of, for example a partially transparent prism splitting a portion of the beam b, as beam b2 may be arranged between the prism 11 and the detector 13. The split beam is incident via, for example two lenses 15 and 16 on a television camera 17 which is coupled to a monitor (not shown) on which the alignment marks P2 and M2 are visible to an operator of the projection apparatus. This operator can then ascertain whether the two marks coincide and move the substrate W by means of manipulators so as to cause the marks to coincide.

Analogously as described hereinbefore for the marks M2 and P2, the marks M, and P2 and the marks M, and P, can be aligned with respect to each other. The alignment system AS2 is used for the last-mentioned two alignments.

For further particulars about the construction and the alignment procedure of the double alignment unit, reference is made to US Patent 4,778,275.

The embodiment of the on-axis alignment unit shown in Fig. 1 is particularly suitable for an apparatus in which a projection beam PB having a short wavelength, for example 248 nm, and an alignment beam having a considerably larger wavelength, for example 633 nm, are used.

Since the projection lens system is designed for the wavelength of the projection beam PB, differences occur when this system PL is used for imaging the alignment marks Pj, P2 and M, and M2 on each other by means of the alignment beam. For example, the substrate alignment marks will not be situated in the plane of the mask pattern in which the mask alignment marks are situated, but will be imaged at a given distance therefrom, which distance depends on the difference between the wavelength of the projection beam and the alignment beam and the difference between the refractive indices of the material of the projection lens elements for the two wavelengths. If the projection beam has a wavelength of, for example 248 nm and the alignment beam has a wavelength of 633 nm, this distance may be 2 m. Moreover, due to said wavelength difference, a substrate alignment mark is imaged on a mask alignment mark with a magnification which differs from the desired magnification and increases with an increasing wavelength difference.

To correct for said differences, the projection lens system PL incorporates an extra lens, a correction lens, 25. The correction lens is arranged at such a height in the projection lens that, on the one hand, in the plane of the correction lens the sub-beams of the different diffraction orders of the alignment beam, which sub-beams originate from, and are also generated by, a substrate alignment mark, are sufficiently separated to be able to influence these sub-beams separately and, on the other hand, this correction lens has a negligible influence on the projection beam and the mask pattern image formed with it. The correction lens is preferably situated in the Fourier plane of the projection lens system. If, as is shown in Fig. 3, the correction lens 25 is situated in a plane in which the chief rays of the alignment beams b and b' intersect each other, then this lens can be used for correcting both alignment beams.

If desired, a wedge or a different deflection element such as a diffraction element may be arranged in the path of the alignment beam(s) proximate to an alignment mark. With such a deflection element, not shown in Fig. 3, alignment errors resulting from unintentional phase differences within the selected alignment beam portions received by the detector 13 or 13' may be prevented, which phase differences may occur if the axis of symmetry of the alignment beam portions coming from a substrate alignment mark is not perpendicular to the mask plate, so that false reflections may occur within this plate. An alignment unit provided with such a deflection element is described in EP Patent Application 0 467 445.

In addition to the global alignment marks P, and P2, shown in Fig. 1, which are used for aligning the entire substrate with respect to the mask, referred to as global alignment, the substrate may be provided with further alignment marks per IC area so as to align each IC area separately with respect to the mask pattern. The mask may also comprise more than two alignment marks in which the further alignment marks may be used, for example to measure the rotation of the mask about the Z axis so that this rotation can be corrected.

The projection apparatus further comprises a focus error detection system for determining a deviation between the focal plane of the projection lens system PL and the surface of the substrate W, so that this deviation can be corrected, for example by moving the projection lens system along its axis, the Z axis. This system may be constituted by the elements 40, 41, 42, 43, 44, 45 and 46 which are arranged in a holder (not shown) which is fixedly connected to the projection lens system. The reference numeral 40 denotes a radiation source, for example a diode laser, which emits a focusing beam b2. This beam is directed at a small angle onto the substrate by a reflecting prism 42. The beam reflected by the substrate is directed

towards a retroreflector 44 by the prism 43. The element 44 reflects the beam in itself so that the beam (b3,) once again traverses the same path via reflections on the prism 43, the substrate W and the prism 42.

The beam b3, reaches a radiation-sensitive detection system 46 via a partially reflecting element 41 and a reflecting element 45. This detection system consists of, for example a position-dependent detector, or of two separate detectors. The position of the radiation spot formed by the beam b3, on this system is dependent on the extent to which the focal plane of the projection lens system coincides with the plane of the substrate W. For an extensive description of the focus error detection system, reference is made to US Patent 4,356,392.

For accurately determining the X and Y positions of the substrate holder, a stepping projection apparatus is provided with a multi-axis interferometer system. US

Patent 4,251,160 describes a system with two measuring axes and US Patent 4,737,283 describes a system with three measuring axes. In Fig. 1, such an interferometer system is diagrammatically shown by means of the elements 50, 51, 52 and 53, while only one measuring axis, the X axis, is shown. A beam b4 emitted by a radiation source 50 in the form of a laser is split by a beam splitter 51 into a measuring beam b4,m and a reference beam b4,r. The measuring beam reaches a reflecting side face 54 of the substrate holder WH and the reflected measuring beam is combined by the beam splitter 51 with the reference beam reflected by a stationary retroreflector, for example a corner cube. The intensity of the combined beam is measured with a detector 53, and the displacement, in this case in the X direction, of the substrate holder WH can be derived from the output signal of this detector, and also an instantaneous position of this holder can be determined.

As is diagrammatically shown in Fig. 1, their interferometer signals, represented for the sake of simplicity by one signal S53, and the signals S3 and S'3 of the double alignment unit are applied to a signal-processing unit SPU, for example a microcomputer, which processes said signals to control signals SAC for an actuator AC with which the substrate holder is moved in the XY plane via the substrate table WT.

With an interferometer system, which has not only the X measuring axis shown in Fig. 1 but also a Y measuring axis and possibly a third measuring axis, the positions of, and the mutual distances between, the alignment marks P1, P2 and M1, M, can be fixed in a system of coordinates defined by the stationary interferometer system during the initial, or global, alignment of the mask and the substrate with respect to each other. This interferometer system is also used for moving the substrate table very accurately, which is necessary for a stepping projection apparatus so as to be able to step very accurately from a first IC area to a second IC area.

If, as shown in Fig. 1, the projection apparatus is a step-and-scan apparatus, in which the mask and the substrate must be moved synchronously during the projection of the mask pattern in an IC area, the mask must also be moved in one direction, the scanning direction. With the magnification M of the projection lens system being taken into account, this movement must be synchronous with the corresponding movement of the substrate. Then, the mask and the substrate must stand still with respect to each other during projection and both must be moved with respect to the projection lens system and the projection beam. To measure the movement of the mask, the apparatus must be provided with a second interferometer system. This interferometer system comprises the elements 60, 61, 62, 63 and 64 which have a similar function as the elements 50, 51, 52, 53 and 54. The signals from the mask interferometer system, represented for the sake of simplicity by a signal S63 in Fig. 1, are applied to the signal-processing unit SPU in which these signals are compared with the corresponding signals from the substrate interferometer system. It can then be ascertained whether the mask and the substrate mutually have the correct position and/or move synchronously.

If the positions in the X and Y directions of the mask are represented by X_r, Y_r and those of the substrate by X_w, Y_w and the rotation about the Z axis by θ_r, θ_w , then the following conditions are satisfied when the mask and the substrate are correctly positioned with respect to each other:

$$X_x - M.X_r = 0 \quad (1)$$

$$Y_w - M.Y_r = (2)$$

$9z_w - S.z_r = (3)$ in which M is the magnification of the projection lens system. It has been assumed that the mask and the substrate move in opposite directions. If these elements move in the same direction, the minus sign preceding M in the above conditions should be replaced by a plus sign.

To ascertain whether these conditions have been met, it is sufficient that both the interferometer system for the substrate and that for the mask have three measuring axes.

However, the substrate interferometer system preferably has five measuring axes. Then, not only X_w, Y_w and θ_w but also α_w and β_w , i.e. the tilts about the X axis and the Y axis can be measured.

To be able to measure such tilts of the mask, a five-axis mask interferometer system may be used, or a combination of a three-axis interferometer system for determining X_r, Y_r and Z_r and other sensors such as capacitive sensors for the X_r, Y_r measurements.

If X_w, Y_w, Z_w and X_r, Y_r, Z_r are measured, with the aid of the focus error detection system, Z_w and Z_r i.e. the positions along the Z axis of the substrate and the mask can be measured, it can be ascertained whether not only the conditions (1), (2) and (3) are met, but also the conditions:

$$M2.Z_w - Z_r = 0 \quad (4)$$

$$M1.X_w - X_r = 0 \quad (5)$$

$$M1.Y_w - Y_r = 0 \quad (6)$$

The on-axis alignment unit, described with reference to Fig. 3, for mutually aligning a mask alignment mark and a substrate alignment mark with respect to each other has been found to be eminently suitable for both stepping and step-and-scan projection apparatuses with which images having line widths up to a given minimal value are formed. However, it is expected that the use of novel technologies in the IC manufacture and decreasing line widths in the images will lead to problems as far as accuracy and reliability of the known alignment unit are concerned. When reducing the line width, the alignment accuracy must be enhanced. When using said CMP process so as to flatten the substrate in the meantime, asymmetries are introduced in the substrate grating mark so that the alignment procedure in which the first-order sub-beams are used becomes unreliable. Moreover, when using an alignment beam having one wavelength, strict requirements must be imposed on the depth of the grating grooves of the alignment mark, which requirements can only be met with increasing difficulty.

All of these problems can be solved by making use of an off-axis alignment unit for aligning the substrate mark and by using higher-order sub-beams, i.e. subbeams having a diffraction order which is higher than 1 in the alignment. Since the alignment of the substrate mark no longer takes place through the projection lens system, there will be greater freedom to use more sub-beams, particularly higher-order sub-beams.

Since the resolving power of the alignment unit increases with an increasing order number of the sub-beams, the accuracy of the alignment can be enhanced considerably. Since notably the higher-order sub-beams are determined by the edges of the substrate grating mark and, as compared with the center of the grating, these edges are less influenced by said CMP process and other measures affecting the symmetry of the grating, the problem of asymmetry in the grating mark is largely eliminated. Moreover, it is also possible to use alignment radiation with more than one wavelength so that the requirements imposed on the depth of the grating grooves can be alleviated considerably.

As will be elucidated hereinafter, the diffraction orders are separated from each other by optical elements in the alignment unit according to the invention, not by electronic means and/or associated software. Consequently, it is not necessary to measure signal amplitudes but the phase measurements which are more conventional in these kinds of techniques can be used.

Fig. 4 shows the circuit diagram of the novel off-axis alignment unit. The substrate mark, in the form of a grating, is denoted by P1. A parallel alignment beam b having a wavelength λ incident on this grating is split up into a number of sub-beams extending at different angles θ_n (not shown) to the normal on the grating, which angles are defined by the known grating formula:

$$\sin \theta_n = N \cdot \lambda / P \quad (7)$$

P wherein N is the diffraction order number and P the grating period.

The path of the sub-beams reflected by the grating incorporates a lens system L1 which converts the different directions of the sub-beams into different positions u_n of these subbeams in a plane 73. In this plane means are provided for further separating the different sub-beams. To this end, a plate may be arranged in this plane, which is provided with deflection elements in the form of, for example wedges. In Fig. 4, the wedge plate is denoted by WEP. The wedges are provided on, for example the rear side of the plate. A prism 72 can then be provided on the front side of the plate, with which an alignment beam coming from the radiation source 70, for example a He-Ne laser can be coupled into the alignment unit. This prism can also prevent the 0-order sub-beam from reaching the detectors. The number of wedges corresponds to the number of sub-beams which is to be used. In the embodiment shown, there are six wedges per dimension for the plus orders so that the sub-beams can be used up to and including the 7th order for the alignment. All wedges have a different wedge angle so that an optimal separation of the different sub-beams is obtained.

A second lens system L2 is arranged behind the wedge plate. This lens system images the mark P1 in the plane reference plate RGP. In the absence of the wedge plate, all sub-beams would be superimposed in the reference plane. Since the different subbeams through the wedge plate are deflected at different angles, the images formed by the sub-beams reach different positions in the reference plane. These

positions X_n are given by

$X_n = f_2 \cdot W_n \cdot (9)$ in which ω is the angle at which a sub-beam is deflected by the wedge plate.

At these positions, reference gratings G90 - G96 can be provided, as is shown in Fig. 5. A separate detector 90-96 is arranged behind each of these reference gratings. The output signal of each detector is dependent on the extent to which the image of the substrate grating P1 coincides with the relevant reference grating. Hence, the extent of alignment of the substrate grating, and thus of the substrate, can be measured with each detector 90-96. However, the accuracy with which the measurement takes place is dependent on the order number of the sub-beam used; as this order number is larger, the accuracy is greater. In Fig. 5 it has been assumed for the sake of simplicity that all reference gratings G90 - G96 have the same grating period. Actually, however, the grating period of each grating is adapted to the order number of the associated sub-beam. As the order number is larger, the grating period is smaller and a smaller alignment error can be detected.

Hitherto only one set of diffraction orders has been considered. As is known, a diffraction grating forms, in addition to +1, +2, +3 etc order sub-beams, also sub-beams of diffraction orders -1, -2, -3 etc. Both the plus orders and the minus orders sub-beams can be used to form the grating image, i.e. a first image of the grating mark is formed by the +1 and -1 order sub-beams jointly, a second image is formed by the +2 and -2 order sub-beams jointly, and so forth. For the +1 order and the -1 order sub-beams no wedges need to be used, but plane-parallel plates which compensate for path-length differences can be provided at the positions of these subbeams in the plane of the wedge plate. Thus six wedges, both for the plus orders and for the minus orders, are required for the orders 2-7.

Figure 6 illustrates more clearly the functioning of the wedges of the embodiment of figure 4. In the, more schematic, figure 6 the first lens system L1 and the second lens system L2 are represented by wavy lines. For clearness sake only the sub-beams of the first orders $b(+1)$ and $b(-1)$, the sub-beams of the seventh order $b(+7)$ and $b(-7)$ and the sub-beams of another order $b(+i)$ and $b(-i)$, for example the fifth order, are shown. As figure 6 illustrates, the wedge angles, i.e. the angle which the inclined face of the wedge makes with the plane surface of the wedge plate WEP, of the wedges 80 and 80' are such that the sub-beams $b(+7)$ and $b(-7)$ are deflected in parallel directions and converged by the second lens system on one reference grating G6. Also the sub-beams $b(+i)$ and $b(-i)$ are deflected by the associated wedges 82 and 82' in parallel directions and converged on one reference grating G9. The first order sub-beams are not deflected and are converged by the second lens system on one reference grating <RTI G93. By using both the plus order and the minus order of each diffraction order a truthful image of the substrate grating mark P1 is formed on the associated reference grating and a maximum use is made of the available radiation.

Figure 7 shows the preferred positions, with respect to the plane of the mark P, and the reference grating plate RGP, of the lens systems L, and L2 and the focal lengths of these lens systems. The lens system has a focal length f , and this system is arranged at a distance f , from the plane of the mark P. The lens system L, deflects the chief rays of the sub-beams in directions parallel to the optical axis OO'. The distance between the first lens system and the second lens system is equal to f , + f_2 whereby f_2 is the focal length of the second lens system. The reference grating plate is arranged at a distance f_2 from the second lens system. As in the path between the two lens systems the chief rays of the sub-beams are parallel to the optical axis OO', the position of the wedge plate is not critical.

In order that in the embodiment of figure 4 the plus- and minus order subbeams of the same diffraction order are deflected such that they can be correctly superposed by the second lens system on the associated reference grating, stringent requirements are to be set to the mutual quality of the two associated wedges. These quality requirements relate to the quality of the inclined faces of the wedges and to the wedge angles.

To lessen said requirements and to release the tolerances of the alignment unit, preferably use is made of the structure of deflection elements shown in figure 8. Instead of one discrete wedge for each sub-beam a number of, for example three, wedge plates 190, 191, 192, which are common to all sub-beams, are used. Figure 8 shows a perspective view and figure 9 a side view of the wedge plates. The wedge angle, i.e. the angle between the upper face and the lower face of a plate, for plate 192 the angle between the face 192a and the face 192b, are different for the three plates. One of the plates, for example plate 190, has a wedge angle which is opposite to those of the other plates. The plates are provided with a number of openings 200, only a few of which are shown in figure 8. These openings are arranged at positions where sub-beams are incident on the relevant plate. However, not at every such position an opening is present. If a sub-beam is incident on an opening in a plate it will not be deflected by this plate.

On its way through the plates a sub-beam will encounter, zero, one or two openings. Only the first order sub-beams encounters zero openings and is not deflected by any of the plates. In figure 9 the path through the plates of one of the sub-beams is shown.

This sub-beam is deflected to the right by the first plate 190. Subsequently this sub-beam is deflected over a smaller angle to the left. Finally this sub-beam passes through an opening 200 in the plate 192 so that no further deflection occurs. For each of the sub-beams the number of openings and the order of the plate in which such opening is present is different from those of the other sub-beams, so that the sub-beams are all deflected in different directions. It will be clear that with a combination of three plates $23=8$ different deflection directions can be realized. As a pair of sub-beams of the same diffraction order is deflected by the same wedge plates, the risk that these sub-beams are not deflected in parallel directions is minimized.

In the embodiment of Figs. 4 and 5, sub-beams with an order number of 1 to 7 are used so that seven reference gratings G90 -G96 are necessary for the alignment in the X direction. For the alignment in the Y direction, seven sub-beams may also be used together with seven further reference gratings G93 -G,04, as is shown in Fig. 5. A second series of twelve wedges is then arranged on the wedge plate in the Y direction in the embodiment of figure 4. In the embodiment of figure 8 a second series of three wedge plates is then arranged in the path of the sub-beams before or behind the first series of wedge plates, which second series of plates deflect the sub-beams in Y-directions. The substrate mark may be the mark shown in Fig. 2. For the first-order sub-beams, a similar reference grating may be used with four grating portions, two of which have a grating period of 8.0clm, while the two other grating portions have a period of 8.8im as is shown in Fig. 5. The other reference gratings have only one grating period which corresponds to the relevant diffraction order of the grating portions with a period of 16ym of the substrate grating P,.

The capture range of 44ym associated with the grating mark P, of Fig. 2 is then maintained.

In the embodiment of Figs. 4 and 5, the sub-beams having the highest order number are deflected by the deflection elements through the largest angle. However, this is not necessary. Under circumstances, this order may be modified, for example for minimizing optical aberrations in the grating images. That may also be the reason why the sub-beams with an ascending order number are deflected by the wedges alternately at a positive angle and a negative angle, as is shown in Fig. 5.

The minimum number of diffraction orders which has to be detected to be able to align in a sufficiently accurate way at a given asymmetry of the substrate mark P, can be determined by means of computer simulations. Such simulations have proved that, for example an alignment error of 150 nm which remains when a first-order sub-beam is used can be reduced to 20 nm when a fifth-order sub-beam is used.

In principle, the maximum number of orders which can be detected is determined by the minimum intensity which can still be detected and by the numerical aperture of the lens system L1, L2. As is known, the intensity of the sub-beam formed by a diffraction grating quickly decreases with an increase of the order number of this sub-beam; the intensity of a sub-beam is inversely proportional to the square of the order number of this sub-beam. For a seventh-order sub-beam, the intensity is thus approximately 1/50 of that of a first-order sub-beam. The intensity loss due to reflections undergone by an alignment beam when traversing the off-axis alignment unit is, however, considerably smaller than when it traverses an on-axis alignment unit. In the last-mentioned unit, the alignment beam meets, for example approximately one hundred surfaces on which reflection losses may occur and in the first-mentioned unit it meets, for example only twenty of these surfaces. If the total reflection loss is a factor of four in the off-axis alignment unit, the 7-order alignment subbeam may have as much intensity as a 1-order alignment beam in the on-axis alignment unit.

The numerical aperture NAn which the optical system L1, L2 must have to pass a sub-beam with a diffraction order of N is given by:

$$NA = \frac{x}{p} \sin(N) \quad (10)$$

For a 7-order sub-beam and a substrate grating mark with a grating period $p = 16\text{ym}$ and a wavelength $X = 544\text{ nm}$, the desired numerical aperture is approximately 0.24, which is a very acceptable number.

To guarantee a sufficiently stable system, the different reference gratings are provided on a single plate RGP which preferably consists of quartz. The dimensions of this plate, hence the image field of the second lens system, are determined by the dimension d, of the reference gratings and their mutual distance d2. This distance and dimension are, for example, both 0.2am so that the dimensions dx and dy in the X and Y directions of the plate RGP are 2.8 mm and the desired field diameter is approximately 3 mm.

The discrete wedges of the embodiment of Fig.4 may be made of glass or quartz and fixed to a quartz plate. This structure shows a high degree of stability. The wedges may also be made of a transparent synthetic material, for example an UV curable plastics. In that case it is preferred to use a replication

technique, known per se in optics, to print the whole wedge structure by means of a mould in one run in a thin layer of this material, which layer is applied to, for example a quartz substrate. As already remarked, instead of discrete wedges preferably wedge plates provided with openings are used. Instead of discrete wedges or wedge plates other deflection elements may be alternatively used, such as diffraction gratings of which only one order is used. Furthermore it is possible to use deflection structures constituted by patterns of refractive index variations in the material of a plate, which patterns are provided, for example by means of ion implantation.

In order that not too stringent requirements have to be imposed on the groove depth of the substrate mark, alignment radiation having two wavelengths, for example 633 nm and 532 nm, is preferably used. Use can be made of the fact that the angles at which the alignment grating deflects the sub-beams and the positions which these beams occupy in the rear focal plane of the lens system L, is dependent on the wavelength, as is apparent from the expressions (7) and (8). In principle, the orders for the different wavelengths can be distinguished from each other. Without further measures, however, a given order, for example the second order of the first wavelength (633 nm) may come between, for example the second and third orders of the second wavelength (532 nm). To separate the orders of the different wavelengths better from each other, it can be ensured that the beams with the different wavelengths are incident at different angles on the substrate grating P,. For the case where seven diffraction orders are used, the situation as shown in Fig. 10 is then created in the rear focal plane of the lens system L,. Now, there is a first cross-shaped pattern of positions 110-137 for the different orders of the first wavelength and a second cross-shaped pattern of positions 138-165 for the different orders of the second wavelength. As is shown by means of the double arrow in the center of Fig. 6, these patterns are offset with respect to each other, which is due to the different angles of incidence of the alignment beams with the different wavelengths. These angles should be maintained as minimal as possible so as to prevent alignment errors occurring due to defocusing effects. When using two wavelengths, the plate with deflection elements must of course be adapted to the situation as is shown in

Fig. 10, which means, inter alia, that instead of 24 discrete wedges 48 wedges must be used, or that instead of 6 wedge-shaped plates 12 of such plates must be used.

A better alternative for the alignment with two wavelengths is illustrated in Fig. 11. In this Figure, the reference numeral 160 denotes a polarization-sensitive beam splitter. This beam splitter receives a first alignment beam b having a first wavelength₁, for example 633 nm, from a He-Ne laser, and having a first direction of polarization and passes this beam to the substrate alignment mark P₁. Incident on this beam splitter is also a second alignment beam b₂ which has a second wavelength₂, for example 532 nm and comes from a

YAG laser preceding a frequency doubler. The beam b₂ has a direction of polarization which is perpendicular to that of the beam b so that the beam b₂ is reflected to the substrate mark P₁. It has been ensured that the chief rays of the beams b and b₂ are made to coincide by the beam splitter so that these beams will be passed as one beam to the mark P,. After reflection by the mark, the beams b and b₂ are split again by the beam splitter. A separate alignment unit 170, 180 is present for each of these beams. Each of these units emits an alignment beam and receives, via the beam splitter, the sub-beams of the different diffraction orders coming from the substrate mark. In each of these units, images of the substrate mark are formed on different reference gratings and with different sub-beams, as has been described with reference to Fig. 4. To this end, each unit is provided with a lens system L₁, L₂ (L₁, a a wedge plate WEP (WEP') and Fig. 8 or a series of wedge-shaped plates, a plate with reference gratings RGP (RGP'), a number of detectors 90-96 (90'-96') and a radiation source 70 (70') whose beam is coupled into the system via a coupling prism 72 (72').

Figure 12 shows part of an embodiment of the alignment unit wherein a special and preferred kind of beamsplitter 160 is used. This beamsplitter comprises a polarisation-sensitive beam splitting prism 210, a quarter-wave plate 211 and a reflector 212. the beams b₁₀ and b₁₁ having different wavelength and coming from sources, not shown, are indicated by thick lines and the beams reflected by the grating mark P, by thin lines. The beams b₁₀, b₁₁ and b₁₂ have the same polarization direction. The first beam b₁₀ is reflected by a reflector 215 towards the polarization-sensitive beam-splitting layer 213 in the prism 210. This layer reflects the beam b₁₀ towards the grating mark P,. The radiation reflected by the grating mark and splitted-up in sub-beams of different diffraction orders is represented by one single beam ray b₁₅. The beam b₁₅ is reflected by the layer 213 towards the associated structure of deflection elements and detectors which are not shown in Fig. 12.

The second beam b₁₂ is reflected by the reflector 216 towards the beam-splitting layer 213 which reflects the beam towards the quarter-wave plate 212. After the beam b₁₂ has passed this plate it is reflected by the reflective layer 212 at the backside of this plate, so that it passes for a second time through the plate 211. The beam b₁₂ leaving the plate 211 has a polarization direction which is rotated over 90° with respect to the polarization direction of the original beam b₁₂. The beam b₁₂ can pass the beam splitting layer 213 and reach the grating mark P,. The radiation reflected by this mark is also indicated by a single beam ray b₁₆.

This beam passes first the beam-splitting layer 213, then traverses twice the quarter-wave plate 211 and finally is reflected by the layer 213 towards the associated structure of wedges and detectors, not shown in Fig. 12. It is only for clearness sake that in Fig. 12 the reflected beams b₆ and b₇ are represented as spatially separated beams; in practice these beams coincide. The same holds for the beams b₁₀ and b₁₁ at the position of the mark P₁.

In the embodiments of Fig. 11 and 12 the first lens system L₁ is preferably arranged between the beam splitter 216 and the grating mark P₁, as shown in Fig. 12. This has the additional advantage that only one such lens system is needed for the two beams of different wavelengths. For the reflected beams separate second lens systems L₂, not shown in Fig. 12, remain necessary.

In the different embodiments described above the detectors are arranged directly behind the reference gratings. In practice however, behind the reference gratings a bundle of imaging fibers may be arranged which image each of reference gratings and the superposed image of the substrate grating mark at a detector at a remote location, which is more convenient with respect to the design of the whole apparatus and with respect to the performance of this apparatus. For example, cross-talk between the images formed by the sub-beams of the different diffraction orders can be decreased and heat generated by signal amplifiers and electronic processors can be kept away from the alignment unit and the apparatus. Also the radiation sources may be arranged at positions remote from the alignment unit and their radiation can also be guided to the unit by an illumination bundle of fibers. In this way the heat generated by the radiation sources can be kept away from the alignment unit and the projection apparatus.

Between the prism 216 and the second lens system L₂ for one of the beams b₅ and b₇ a partially transmitting reflector may be arranged to spit-off a portion of this beam towards a camera which, together with a monitor, provides a visual image of the substrate mark to an operator of the apparatus.

There are different possibilities of using the various detector signals. A start may be made with the alignment by means of the first-order sub-beams by processing the signals of the detectors associated with these sub-beams. Subsequently, the signals of the detectors associated with the second-order sub-beams may be used for finer alignment, then the signals of the detectors associated with the third-order sub-beams may be used for even finer alignment, and so forth. This may continue as long as the sub-beams used still have sufficient intensity to be detected in a reliable manner.

Another possibility is based on the recognition that the intensity of certain diffraction orders is increased at the expense of other diffraction orders when given process layers are provided on the substrate. In that case, a direct choice of the preferred orders may be made for the alignment. Under circumstances, said possibilities may also be combined.

It is also possible to calibrate the alignment unit before a batch of substrates is illuminated with a mask pattern or at the beginning of a production day. For a number of positions of the substrate mark the detector signals for each of the diffraction orders are measured. The results of these measurements are stored in graphs or tables showing for each position of the substrate mark the value of the detector signal for each diffraction order.

During illuminating the substrates the alignment measurement can be performed by measuring only the, relatively large, detector signals of the lower diffraction orders, for example the first three orders. By interpolation the corresponding value for a higher diffraction order, for example the seventh order, can be determined. In this way it is possible to determine alignment errors with high resolution and large signal amplitude.

Hitherto, only the alignment of the substrate with respect to an apparatus reference in the form of reference gratings has been described. With the same alignment unit also the position of the substrate holder or table can be determined. To that end this holder or table is provided with an alignment mark similar to the substrate alignment mark. The position of the substrate holder mark with respect to the reference in the alignment unit is determined. The position of the substrate mark with respect to the substrate holder mark is then known. To be able to fix the mutual position of the mask pattern and the substrate, a further measurement is necessary, namely that of the position of the mask pattern with respect to the substrate holder or table. For this further measurement, the on-axis alignment unit described with reference to Figs. 1, 2 and 3 may be used, with which mask marks are aligned with respect to marks of the substrate holder. Not only the double alignment unit as shown in Fig. 3 but also a single alignment unit as described in US Patent 4,251,160 may be used.

Another possibility of aligning the mask pattern with respect to the substrate table is the use of the image sensor unit described in, for example US Patent 4,540,277. In such a unit, a mask alignment mark is imaged by means of projection radiation on a corresponding and transmissive reference mark in the

substrate table. In this table, a detector may be arranged behind the reference mark for converting the radiation passed by the reference mark into an electric signal. In the first instance, this image sensor unit is intended for, for example calibrating an on-axis alignment unit which operates with alignment radiation having a wavelength which is considerably different from that of the projection radiation, or for checking the image quality of the image formed by the projection lens system and for measuring distortions and aberrations which may occur, but it is also eminently suitable for aligning the mask pattern with respect to the substrate table. Instead of the transmission image sensor unit described in US Patent 4,540,277, an image sensor unit operating in reflection may be alternatively used for aligning a mask mark with respect to a substrate table mark. Such a unit, which is described in US Patent 5,144,363, operates with a reflective mark on the table and comprises a relatively large number of detectors which observe the mark at different angles and which, together with the associated optical systems, are provided in a sensor plate which is arranged between the projection lens system and the substrate table.

The off-axis alignment unit according to the invention must also be provided in this space. This unit must be arranged as close as possible to the center of the substrate table and requires a building space which is conical with an aperture of, for example 0.3. In practice, the length of the Y slide of the substrate table approximately corresponds to the radius of the substrate for which the projection apparatus has been designed, for example 102 mm for an 8-inch substrate, so that there is little room for building in the alignment unit in this direction. The X slide of the substrate table is, however, for example 25 mm longer than the Y slide, so that an alignment unit which can handle an 8-inch substrate can be placed at a distance of 25 mm from the optical axis of the projection lens system. This is shown very diagrammatically in Fig. 13 which shows a part of the projection lens system PL and its optical axis OO'. The dark portion between the projection lens system and the substrate indicates the space which is occupied by the projection beam, and the arrows marked b indicate sub-beams of the alignment radiation.

The alignment beam is incident on the substrate at a distance dx from the axis OO' which distance is thus, for example 25 mm. The reference CS denotes the critical position for the available building space. At this position, the diameter of the cone within which the subbeams with the different diffraction orders are situated is equal to the distance to the substrate, multiplied by twice the value of the numerical aperture. For a numerical aperture of 0.25 and a value of 32 mm for said distance, said diameter, hence the required vertical space at the location of CS, is 16 mm. This is a reasonable requirement in practice.

However, this venical space may not be completely available. In that case, two off-axis alignment units may be used which are arranged diametrically with respect to each other and can each cover a part of the substrate.

Fig. 14 shows the measuring spots of these two off-axis alignment units, denoted by OAS1 and OAS2. This Figure, which is also diagrammatic, shows the substrate, both in a central position, denoted by W, and at the two positions, denoted by W' and W'', in which it is within the range of the spots OAS1 and OAS2. The pointed areas denote those areas of the substrate which are within the range of the off-axis alignment units. It will be evident that the, white, central strip and the left upper part and the right lower part of the substrate are not within the range of the units OAS1 and OAS2 so that the substrate marks which must cooperate with these units must be provided outside the white areas and within the grey areas of the substrate. For the purpose of orientation, Fig. 14 also shows the different branches of a reflective image sensor unit for the +X and -X directions (IS+X, IS-X) and for the +Y and -Y directions (IS+Y, IS-Y) and the components of a focus and level unit denoted by LS-Q, LS+Q, LS+P and LS-P. Such a unit is described in US Patent 5,191,200 and serves for measuring a focus error, hence a deviation between the image plane of the projection lens system and the plane of the photosensitive layer on the substrate, and for measuring a global or local tilt of the substrate.

If the reflective image sensor IS, or the part IS-Y of it, is omitted from the embodiment of Fig. 14, it becomes possible to arrange the off-axis alignment unit such that its measuring spot is situated closer to the axis of the projection system, for example at a distance of 65 mm, as indicated by the broken circle OAS-3 in Fig. 14. Then the range of a single off-axis alignment unit is sufficient to cover a whole wafer and only one such unit is needed.

The above-mentioned values for the different parameters are only given by way of example and for the purpose of orientation. These values may be very different for various apparatuses.

As hitherto described the off-axis alignment unit is arranged in the projection column, comprising the mask holder, the projection system and the substrate holder, of the lithographic projection apparatus. With the increasing demand for larger IC's having smaller details, and thus comprising more electronic components, the alignment procedure becomes more and more time-consuming. The throughput of these apparatus therefore tends to decrease without further measures. It has already been proposed to add to such apparatus a separate measuring station. In this station the position in, for example the

X-, Y- and Z-direction, of a substrate is measured before this wafer is brought in the projection column, or projection station. In the measuring station substrate marks can be aligned with respect to alignment marks on the substrate holder or table. After the substrate, together with the holder has been placed in the projection system, only a mask alignment mark needs to be aligned with respect to the substrate holder mark, which takes only a short time. As in the apparatus, comprising a separate measuring station and projection station, during the illumination of a first substrate in the projection station a second substrate is being measured in the measurement station, the throughput of this apparatus is considerably larger than in an apparatus without a separate measurement station. The alignment unit used in the measuring station for aligning a substrate mark with respect to a substrate holder mark is preferably an off-axis alignment system as described herein before.

The invention is described with reference to its use in apparatus for step-and-scan imaging of a mask pattern on a substrate for manufacturing ICs, but this does not mean that it is limited thereto. The invention may be alternatively used in such an apparatus for manufacturing integrated, or plenary, optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, or liquid crystalline display panels. The projection apparatus may not only be an optical apparatus, in which the projection beam is a beam of electromagnetic radiation and the projection system is an optical projection lens system, but also an apparatus in which the projection beam is a charged-particle beam such as an electron beam, an ion beam or an X-ray beam, in which an associated projection system, for example an electron lens system is used. Generally, the invention may be used in imaging systems with which images having very small details must be formed.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

LITHOGRAPHIC PROJECTION APPARATUS WITH OFF-AXIS ALIGNMENT UNIT

Claims of corresponding document: WO9839689

**CLAIMS:**

1. A lithographic projection apparatus comprising a radiation source supplying a projection beam, a mask holder, a substrate holder and a projection system arranged between the mask holder and the substrate holder, said apparatus further comprising an alignment system for ultimately aligning a substrate, provided in the substrate holder, with respect to a mask provided in the mask holder, said alignment system comprising an off-axis alignment unit for aligning an alignment mark, provided on the substrate, with respect to a reference, characterized in that the alignment mark is a diffractive mark and in that the alignment unit is adapted to separately detect a number of at least three sub-beams diffracted by the diffractive mark in different diffraction orders which are higher than 0, each sub-beam comprising an indication about the position of the substrate mark with respect to the reference.
2. A lithographic projection apparatus as claimed in Claim 1, characterized in that said reference consists of a structure of a number of separate reference elements equal to the number of used diffraction orders and having the same shape as the substrate alignment mark, and in that a separate detector is associated with each of these diffractive elements for converting a sub-beam coming from the substrate mark and passed by the relevant diffractive reference element into an electric signal.
3. A lithographic apparatus as claimed in Claim 2, characterized in that the reference elements are gratings
4. A lithographic projection apparatus as claimed in Claim 2 or 3, characterized in that the radiation path between the substrate mark and the diffractive reference elements successively incorporates a first lens system, a structure of deflection elements arranged in the paths of the sub-beams from the first lens system to give the separate subbeams different directions, and a second lens system arranged behind said deflection elements for concentrating the sub-beams on the associated reference elements.
5. A lithographic projection apparatus as claimed in claim 4, characterized in that the distance between the first lens system and the plane of the substrate mark is equal to the focal length of the first lens system, in that the distance between the second lens system and the plane of the reference elements is equal to the focal length of the second lens system and in that the distance between the first lens system and the second lens system is equal to the sum of the focal length of the first lens system and that of the second lens system.
6. A lithographic projection apparatus as claimed in claim 4 or 5, characterized in that the structure of deflection elements comprises a pair of deflection elements for each diffraction order to deflect the sub-beams of this diffraction order with opposite diffraction order signs such that the second lens system converges these sub-beams on one associated reference element.
7. A lithographic projection apparatus as claimed in claim 4,5 or 6, characterized in that the structure of deflection elements comprises a number of discrete optical wedges, which number is equal to the number of sub-beams.
8. A lithographic projection apparatus as claimed in claim 4,5 or 6, characterized in that the structure of deflection elements comprises a number of transparent wedge-shaped plates, which are arranged one behind the other in the path of the sub-beams and have different wedge angles and a number of openings to pass radiation undeflected, the number of openings and their positions being such that with the combination of n plates 210 diffraction orders can be deflected in different directions in a binary way.
9. A lithographic projection apparatus in any one of Claims 1-8, characterized in that the substrate mark is a linear grating.
10. A lithographic projection apparatus as claimed in Claim 9, characterized in that the substrate mark comprises two grating portions, in which the direction of the grating strips of the first portion is perpendicular to that of the grating strips of the second portion in that the structure of deflection elements is a two-dimensional structure and in that the reference is a two-dimensional reference.
11. A lithographic projection apparatus as claimed in any one of the preceding Claims, characterized in that the off-axis alignment unit comprises two radiation sources which supply

beams of different wavelengths, and a beam splitter for combining the two beams on their path to the substrate mark and for splitting the beams reflected by said mark, and in that a separate structure of deflection elements and diffractive reference elements is present for each of these beams.

12. A lithographic apparatus as claimed in any one of the preceding Claims, characterized in that a second off-axis alignment unit is present, and in that the firstmentioned alignment unit and the second alignment unit are arranged diametrically with respect to the projection system.

13. A lithographic apparatus as claimed in any one of the preceding Claims, characterized in that the alignment system also comprises an on-axis alignment unit for aligning the substrate with respect to the mask pattern.

14. A lithographic apparatus as claimed in Claim 13, characterized in that the on-axis alignment unit comprises a radiation source which emits a beam having a wavelength which is different from that of the projection beam.

15. A lithographic projection apparatus as claimed in Claim 13, characterized in that the on-axis alignment unit is constituted by an image sensor operating with projection radiation.

16. A lithographic projection apparatus comprising a projection station for projecting a mask pattern onto a first substrate and a measuring station for measuring the position of a second substrate, characterized in that the measuring station comprises an offaxis alignment unit as claimed in any of claims 1-12.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide